



Les Supports de la transmission



Contenu de la matière

1. Chapitre 1. Caractéristiques des supports de transmission
2. Chapitre 2. Conducteurs électriques
3. Chapitre 3. Fibres optiques
4. Chapitre 4. Faisceaux Hertziens
5. Chapitre 5. Faisceaux infrarouges

Références bibliographiques

1. C. Servin, "Réseaux et Télécoms", Dunod, 2006.
2. G. Pujolle, "Cours réseaux et télécoms: Avec exercices corrigés", 3e édition, Eyrolles, 2008.
3. G. Baru  , "Télécommunications et Infrastructure", Ellipses, 2002.
4. P. Atelin, "Réseaux informatiques, Notions fondamentales (Normes, Architecture, Modèle OSI, TCP/IP, Ethernet, Wi-Fi)", Edition ENI, 2009.
5. J. Dordogne, "Réseaux informatiques, Notions fondamentales", 4e édition, Edition ENI, 2011.
6. P. Rolin, G. Martineau, L. Toutain, A. Leroy, "Les réseaux, principes fondamentaux", Edition Hermès, 1997.
7. K. L. Thai, V. Veque, S. Znaty, "Architecture des réseaux hauts débit", Edition Hermès, 1995.
8. D. Présent, S. Lohier, "Transmissions et Réseaux, Cours et exercices corrigés", Edition Dunod, 2005.
9. D. Dromard, D. Seret, "Architecture des réseaux", collection SYNTEX ,2009.
10. R. L. Freeman, "Telecommunication System Engineering", John Wiley & Sons, 2004.
11. D. Smith, J. Dunlop, "Telecommunications Engineering", CRC Press 3rd Edition 1994.
12. L. E. Frenzel, "Electronic Communication Systems", McGraw-Hill, New York, 1998.
13. G. M. Miller, "Modern Electronic Communication", Prentice-Hall, New Jersey, 1996.
14. W. Sinnema et R. McPherson, "Electronic Communications", Prentice-Hall, Scarborough.
15. W. Tomasi, "Advanced Electronic Communications Systems", Prentice-Hall, New Jersey, 2001.
16. C. W Davidson, M. Millan, "Transmission lines for Communication with CAD programs".

Chapitre -1-

Caractéristiques des supports de transmission

I. Introduction:

L'infrastructure d'un réseau, la qualité de service offerte, les solutions logicielles à mettre en œuvre dépendent largement des supports de transmission utilisés. Les supports de transmission exploitent les propriétés de conductibilité des métaux (paies torsadées, coaxial...) ou celles des ondes électromagnétiques (faisceau hertzien, fibres optiques, satellites...).

Un support de transmission est essentiellement caractérisé par son impédance caractéristique et sa bande passante. Ces paramètres conditionnent les possibilités de transmission en termes de débits et de distance franchissable.

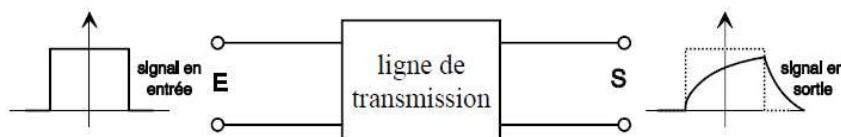
Pourquoi étudier les supports de transmission ?

N'importe quel conducteur électrique a un effet selfique, capacitif et résistif. Si le câble qui transporte l'information est du même ordre de grandeur que la longueur d'onde de l'information, tous ces effets perturbent la transmission. Ces perturbations peuvent être telles que l'énergie arrivant en bout de câble, repartie vers le générateur et le détruire. Ces effets sont donc importants et concernent la HF, les télécommunications.

II. Caractéristiques techniques des supports:

A. Bandé passante:

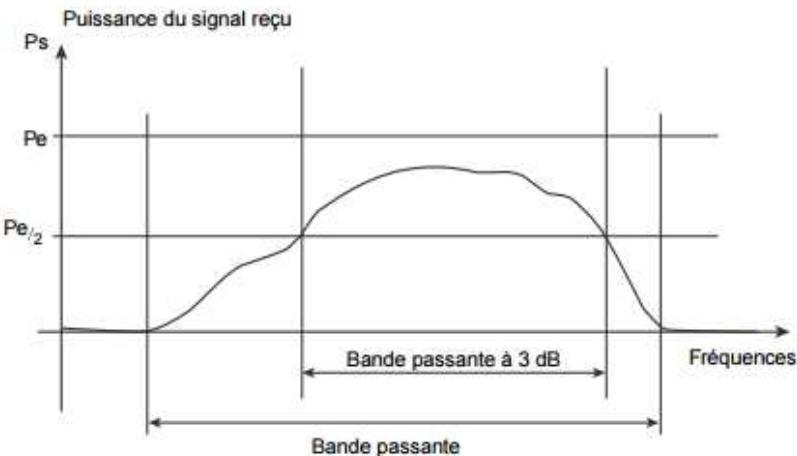
A l'extrême de la ligne, le récepteur doit identifier et décoder le signal. Cette fonction ne peut valablement être effectuée si le signal n'a pas été exagérément modifié pendant la transmission. La bande passante est la grandeur de base qui renseigne sur les possibilités de transmission d'une ligne.



une ligne de transmission déforme le signal

On appelle bande passante l'espace de fréquence tel que tout signal appartenant à cet intervalle ne subisse, au plus, qu'un affaiblissement déterminé par rapport à un niveau de référence.

En général, on caractérise un support par sa bande passante à 3dB (décibels) : c'est la plage de fréquence dans laquelle les signaux appliqués à l'entrée du support subissent un affaiblissement inférieur à 3 dB.



L'affaiblissement A (en dB) d'un signal est donné par la formule suivante : $A = 10 * \log_{10} (P_e/P_s)$. Pour que $A < 3\text{dB}$, il faut donc que $P_s > P_e/2$.

Affaiblissement linéique du câble en TENSION :

Quel est l'affaiblissement linéique du câble ?

$$10 \text{ V} ===== 5 \text{ V}$$

Longueur du câble = 20 m

Formule :

La tension est divisée par 2 ce qui donne un affaiblissement de 3 dB.

Pour un rapport en tension, il faut multiplier le nombre de dB par 2.

Ce qui nous donne $3 \text{ dB} \times 2 = 6 \text{ dB}$.

La longueur du câble est de 20 m, on divise 6 dB par 20 mètres.

La réponse est de 0,3 dB/m.

Affaiblissement linéique du câble en PUSSANCE :

Quel est l'affaiblissement linéique du câble ?

$$50 \text{ W} ===== 25 \text{ W}$$

Longueur du câble = 20 m

Formule :

La puissance est divisée par 2 ce qui donne un affaiblissement de 3 dB.

La longueur du câble est de 20 m, on divise 3 dB par 20 mètres.

La réponse est de 0,15 dB/m.

B. Impédance caractéristique:

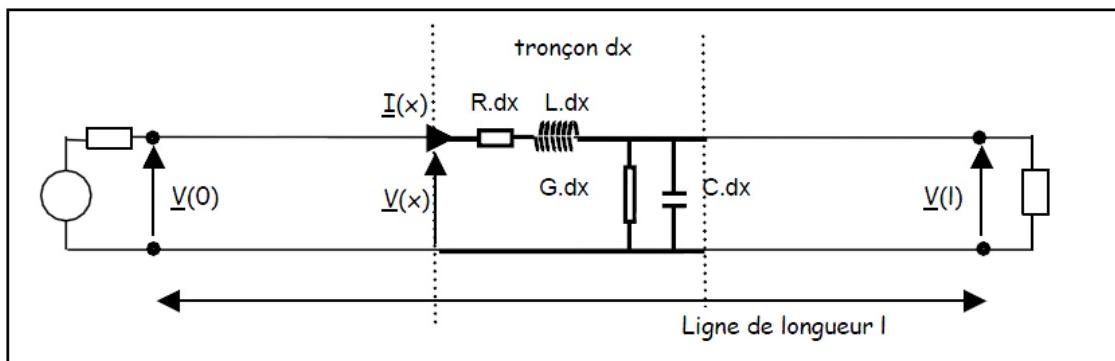
C'est la résistance vue par le générateur aux premiers instants de la transmission. Elle dépend uniquement des caractéristiques de la ligne. On la trouve grâce à des formules, des abaques.

Exemple : En télévision, on utilise un câble de 75 ohms, en radio de 50 ohms.

L'utilisation d'une ligne de transmission est principalement la transmission d'énergie électrique qui par une modulation appropriée supporte une information. La bonne transmission de cette information suppose le bon transfert de l'énergie ce qui suppose une bonne adaptation des impédances à l'entrée et la sortie du câble. Cette bonne adaptation se produit quand l'impédance des terminaisons est égale à l'impédance caractéristique du câble. On parle d'**adaptation d'impédances**.

Si l'adaptation d'impédance n'est pas réalisée, le transfert d'énergie n'est pas total et la part d'énergie non transférée repart dans le câble. C'est pour cela que quelques valeurs d'impédances caractéristiques ont été choisies pour faciliter le travail des concepteurs dans l'utilisation des câbles coaxiaux et de leur terminaison (construction d'antennes, composants standards etc.).

Dans l'étude et l'utilisation des lignes, il faut tenir compte de la vitesse de propagation v du signal toujours inférieure ou égale à la vitesse de la lumière c .



Modèle de la ligne

Pour l'étude, on découpe la ligne en tronçons de longueur dx qui seront caractérisés par :

- Une résistance série **R.dx** en général très faible (prendra $R = 0$, pas de pertes)
- Une conductance parallèle **G.dx** en général très faible (prendra $G = 0$, isolation parfaite))
- Une inductance série **L.dx**, où **L** est l'**inductance linéique** ($0,5$ à 5 mH/m)
- Une capacité parallèle **C.dx**, où **C** est la **capacité linéique** (50 à 100 pF/m)

Si le générateur fournit un signal sinusoïdal, la tension $V(x)$ et le courant $I(x)$ dépendent de la position x et on montre que ces grandeurs vérifient les équations appelées **équations des télégraphistes** :

$$\frac{d^2V(x)}{dx^2} + LC\omega^2 \cdot V(x) = 0$$

et

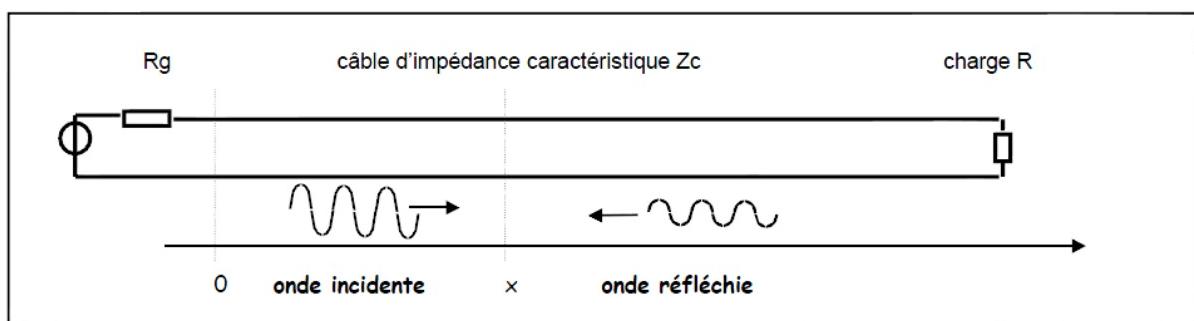
$$\frac{d^2 \underline{I}(x)}{dx^2} + LC\omega^2 \cdot \underline{I}(x) = 0$$

Ces équations différentielles du second ordre admettent les solutions sinusoïdales suivantes:

$$\begin{cases} v(x, t) = V_1 \cos(\omega t - kx) + V_2 \cos(\omega t + kx) \text{ avec } k = \frac{\omega}{v} \quad \text{et } v = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \\ i(x, t) = \frac{V_1}{Z_c} \cos(\omega t - kx) - \frac{V_2}{Z_c} \cos(\omega t + kx) \text{ avec } Z_c = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad \text{etc } c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} \end{cases}$$

La tension sur la ligne est la somme de deux ondes progressives se propageant en sens contraire :

- $V_1 \cos(\omega t - kx)$ est une onde progressive d'amplitude V_1 se propageant de la source vers la charge avec une vitesse v . On l'appelle **onde incidente**.
- $V_2 \cos(\omega t + kx)$ est une onde progressive d'amplitude V_2 se propageant de la charge vers la source : c'est **l'onde réfléchie**.



Ondes incidente et réfléchie sur la ligne

En général, le signal appliqué à l'entrée d'un câble coaxial va se propager vers la sortie, et une partie de ce signal va se réfléchir sur la résistance terminale et revenir vers la source.

Pour une ligne de transmission réelle (avec pertes), l'impédance caractéristique est un nombre complexe :

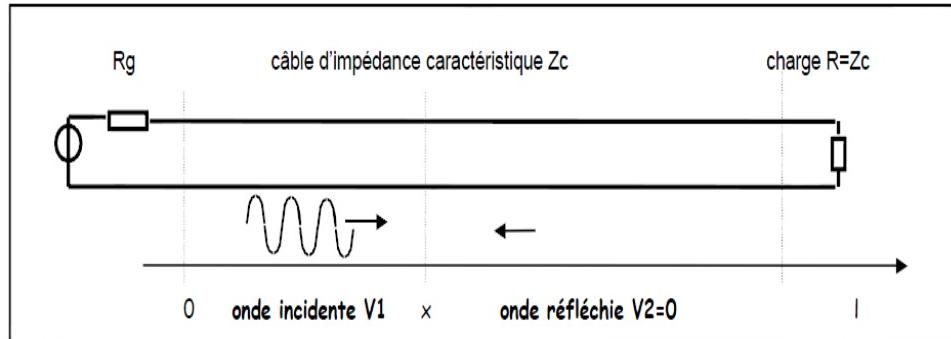
$$Z_c = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}}$$

On remarque qu'à haute fréquence (ω assez grand) R et G sont négligeables devant $j\omega L$ et $j\omega C$ d'où la bonne approximation sur une ligne réelle à haute fréquence de

$$Z_c = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

La ligne adaptée :

On dit qu'une ligne est adaptée si elle est terminée sur une résistance égale à son impédance caractéristique.



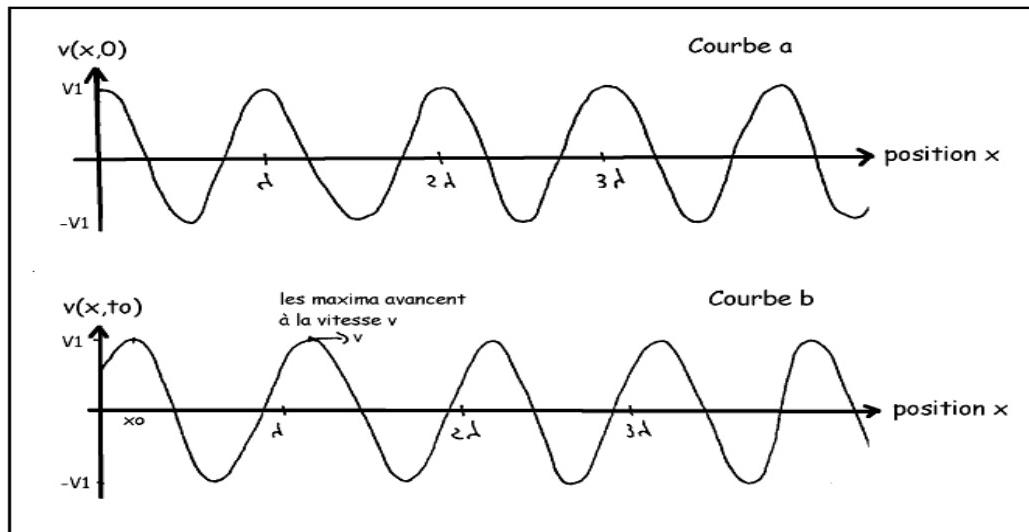
Les cas d'une ligne adaptée

Dans ce cas, il n'y a pas d'onde réfléchie et on a $V_2 = 0$

Si une ligne est adaptée, il n'y a pas d'onde réfléchie et on a simplement sur la ligne une onde progressive se propageant de la source vers la charge. La tension sur la ligne a pour expression:

$$v(x, t) = V_1 \cos(\omega t - kx) = V_1 \cos\left(\omega t - \frac{\omega x}{v}\right)$$

- A l'entrée de la ligne ($x = 0$) on a : $v(0,t) = V_1 \cos(\omega t)$.
- A une distance x de l'entrée, on a : $v(x,t) = V_1 \cos(\omega t - \phi)$ avec $\phi = \omega \cdot x / v$
- Les points en phase avec l'entrée sont séparés par un intervalle tel que le déphasage soit un multiple de 2π : $\phi = \omega \cdot x / v = n \cdot 2\pi$ avec n entier soit $x = n \cdot 2\pi \cdot v / \omega = n \cdot v / f = n \cdot \lambda$



Répartition de la tension sur la ligne à $t=0$ (a) et à $t=t_0$ (b)

Après t_0 secondes, tous les maxima ont avancé d'une distance $x_0 = v \cdot t_0$. La ligne est le siège d'une **onde progressive** se déplaçant à la vitesse v de la source vers la charge.

⇒ à l'entrée, tension et courant sont en phase et la ligne adaptée se comporte vu de l'entrée comme une

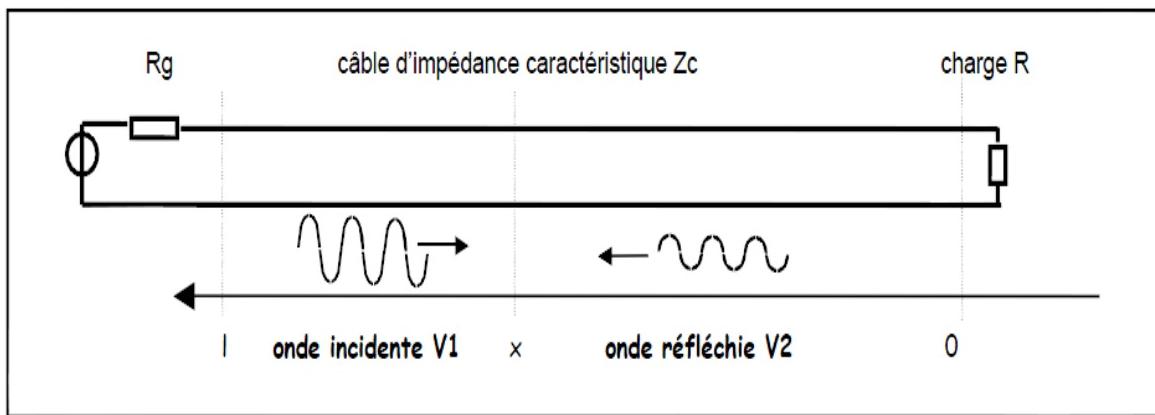
simple résistance de valeur : $R_e = V(0)/I(0) = Z_c$

- Si une ligne d'impédance caractéristique Z_c est adaptée, cette ligne a une impédance d'entrée résistive et égale à Z_c .
- Par exemple si un analyseur de spectre 50Ω est équipé d'un câble 50Ω , l'ensemble est équivalent à une résistance de 50Ω .

Conclusion : lorsqu'on applique à l'entrée d'une ligne adaptée une tension d'amplitude V_1 , la tension garde la même valeur V_1 en tout point de la ligne. La tension en sortie est aussi égale à V_1 .

Ondes stationnaires sur une ligne désadaptée:

Pour étudier ce cas, on fait un changement de repère en prenant un axe qui a son origine en bout de ligne et orienté de la sortie vers l'entrée.



La ligne désadaptée est parcourue par deux ondes progressives

La tension et le courant s'écrivent:

$$\begin{cases} v(x, t) = V_1 \cos(\omega t + kx) + V_2 \cos(\omega t - kx) \\ i(x, t) = \frac{V_1}{Z_c} \cos(\omega t + kx) - \frac{V_2}{Z_c} \cos(\omega t - kx) \end{cases}$$

L'onde réfléchie a une amplitude V_2 donnée par le coefficient de réflexion r (r est le coefficient de réflexion en bout de ligne):

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{R - Z_c}{R + Z_c}$$

A une distance x du bout de la ligne la tension s'écrit alors :

$$v(x, t) = V_1 \cos(\omega t + kx) + r \cdot V_1 \cos(\omega t - kx)$$

- Aux points x_0 où les 2 termes sont en phase, la tension est maximale (ventre) :

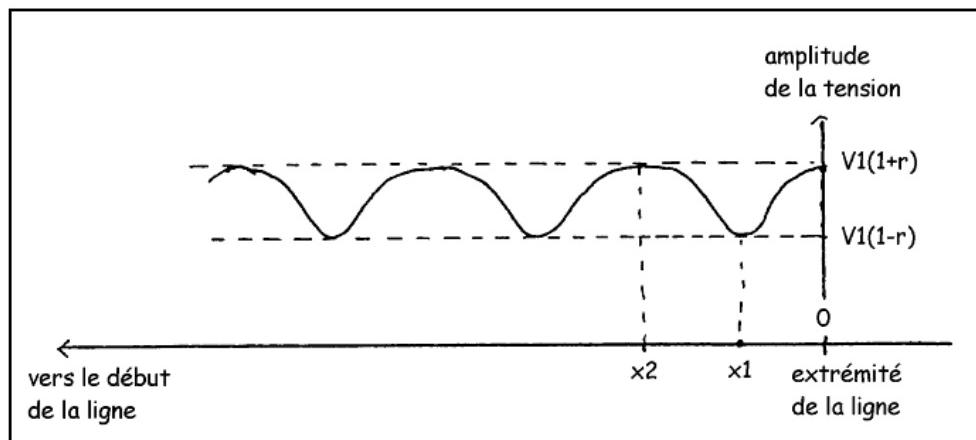
$$V(x_0) = V_1 \cdot (1 + r)$$

Ces points sont caractérisés par : $k \cdot x_0 = n \cdot 2\pi$ soit $x_0 = n \cdot \lambda$

- Aux points x_1 où les deux termes sont en opposition de phase, la tension est minimale (noeud) :

$$V(x_1) = V_1 \cdot (1 - r)$$

Ces points sont caractérisés par : $k \cdot x_1 = (2n + 1) \cdot \pi$ soit $x_1 = (2n + 1) \cdot \lambda/2$



Répartition de la tension sur la ligne désadaptée

On définit alors le Rapport d'Ondes Stationnaires ou ROS de la manière suivante :

$$ROS = \frac{\text{amplitude maximale}}{\text{amplitude minimale}} = \frac{1 + |r|}{1 - |r|}$$

Si la ligne est adaptée le ROS est égal à 1.

Conclusion: lorsqu'on applique à l'entrée d'une ligne désadaptée une tension d'amplitude V_1 , la tension n'a pas la même valeur en tout point de la ligne et sa valeur en sortie n'est pas bien connue.

C. Le coefficient de réflexion:

C'est un nombre sans dimensions qui indique la quantité d'énergie réfléchie en bout ou en début de ligne. Il est défini par une équation qui met en jeu l'impédance caractéristique de la ligne et l'impédance du bout de ligne ou du générateur. Il est compris entre -1 et +1.

D. Le ROS (Rapport d'onde stationnaire):

Lorsque l'impédance de la ligne de transmission n'est pas la même que celle de la charge (l'antenne, par exemple), il apparaît des ondes stationnaires sur la ligne. Cette désadaptation se mesure à partir du **Rapport d'Ondes Stationnaires (ROS)**.

Autrement dit, la mesure du ROS est une façon de connaître le degré d'adaptation ligne/charge et le pourcentage de puissance transmis. Ce nombre s'exprime en fonction du rapport des impédances caractéristiques de la ligne et de la charge. Si ces deux impédances sont des résistances pures, le ROS est égal au rapport de ces résistances. **Par définition ce rapport doit être supérieur à 1.**

ROS = Z plus forte / Z plus faible.

Question : Quel est le ROS (Rapport d'Ondes Stationnaire)

TX = 50 Ohms ===== RX = 75 Ohms

Formule : $ROS = \text{Impédance la plus grande} / \text{Impédance la plus petite}$

Exemple : $75 \text{ Ohms} / 50 \text{ Ohms} = 1,5$

Question: Calcul du TOS (Taux d'Ondes Stationnaire)

Puissance incidente = 9 Watts

Puissance réfléchie = 1 Watt

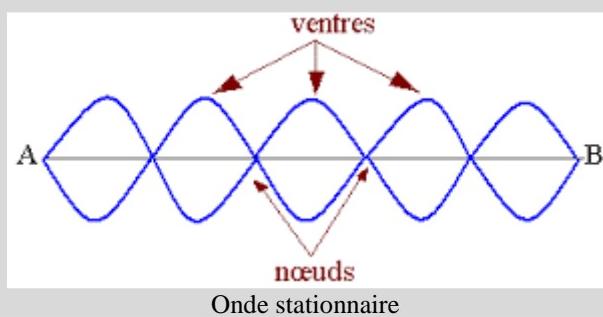
Formule : $TOS = \text{Puissance réfléchie} / \text{Puissance incidente} \times 100$

Exemple : $1/9 = 0,11 \times 100 = 11\%$

Note:

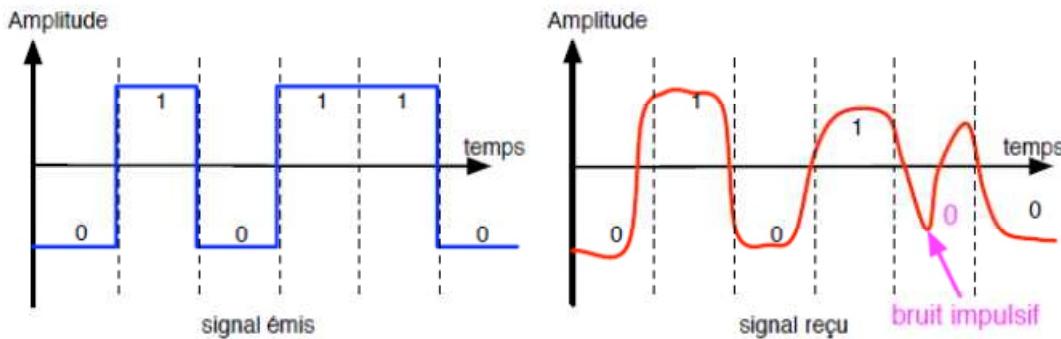
Onde progressive: signal d'amplitude constante issu de l'émetteur & qui voyage vers l'antenne OU réfléchi par l'antenne vers l'émetteur.

Onde stationnaire: signal qui est l'addition des ondes progressives incidente ET réfléchie : ventres & nœuds immobiles.



E. Bruits et distorsions:

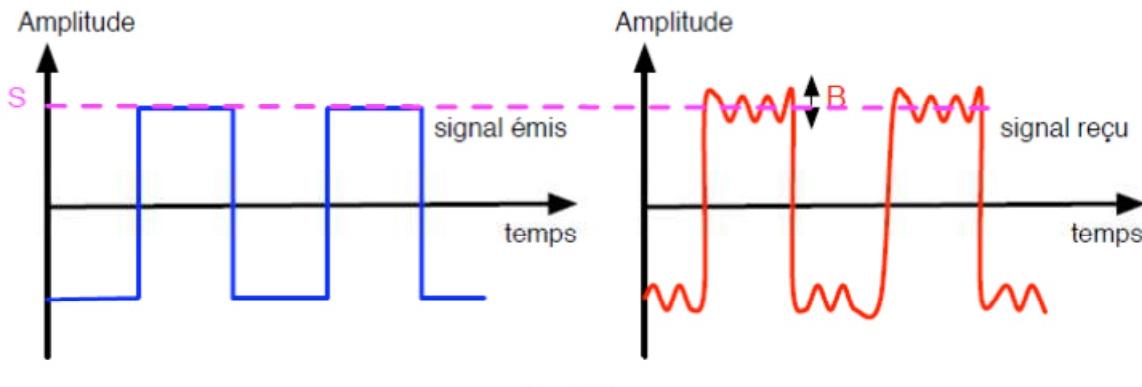
La distorsion/atténuation du signal peut affecter ce signal jusqu'à le rendre non reconnaissable par le récepteur. Les bruits impulsionnels est une perturbation brève provenant de l'extérieur. D'intensité élevée, ils peuvent générer des erreurs de transmission. Ces phénomènes peuvent être limités par le choix du support de transmission



Distorsion, atténuation et bruit impulsif

F. Le rapport signal sur bruit:

Le bruit blanc provient de l'agitation thermique des électrons. Il est généralement d'amplitude faible et est peu gênant pour les transmissions.



Bruit blanc

Le rapport entre la puissance (S) du signal transmis et la puissance (B) du bruit s'appelle le rapport signal sur bruit. S'il s'exprime en dB, il vaut : **$10 \log_{10} S/B$**

G. Capacité:

La valence maximale V_{\max} d'un support de transmission est donnée par la relation de Shannon :

$$V_{\max} = \sqrt{1 + S/B}$$

La capacité (ou débit binaire maximal) d'un support de transmission représente la quantité d'information maximale transportée par unité de temps :

$$C_{\max} = D_{\max} = M_{\max} * \log_2 V_{\max} = BP * \log_2(1 + S/B)$$

Où D est le débit (en bit/s), BP est la bande passante du support (en Hz) et S/B est le rapport signal sur bruit (exprimé en valeur et non en dB).

Exemple : Soit une liaison téléphonique avec une bande passante de 3100 Hz et un rapport S/B correspondant à 32 dB. Quelle capacité possède cette liaison téléphonique ?

Réponse:

- $10 \log_{10} S/B = 32$, donc $\log_{10} S/B = 3,2$ soit $S/B = 1\ 585$;
- $C_{max} = 3\ 100 \times \log_2 (1 + 1\ 585)$; $C_{max} = 3\ 100 \times 10,63 = 33\ 000 \text{ bit/s} = 33 \text{ kbits}$.

Remarque:

Dans toutes les sciences, kilo a une définition très précise : c'est un facteur multiplicatif de 10 puissance 3. Cette définition est déposée au Bureau International des Poids et Mesures, qui est chargé de la normalisation des unités au niveau mondial. Donc, que ce soient des kilo-grammes, des kilo-mètres, des kilo-Joules, des kilo-ampères, des kilo-hertz ou des kilo-octets, la définition du "kilo" ne varie pas: C'est 10 puissance 3.

Dans le domaine de l'informatique, on trouve ce qu'on appelle le kilo informatique qui veut dire 1024 car $1024 = 2^{10}$.

Donc pour différencier on écrit:

1kio=1024 octets

1kibit=1024 bits

1ko=1000 octets

1kbits=1000 bits

H. Abaque de Smith:

L'abaque de Smith est un outil graphique très utile pour solutionner des problèmes de ligne de transmission. L'abaque de Smith a été développé en 1939 par P. Smith au Bell Telephone Laboratories. C'est un outil qui permet de rapidement visualiser le comportement de circuits hyperfréquences, et il fait parti de tous les logiciels de design.

L'abaque de Smith est essentiellement un graphe polaire de R. On peut exprimer le coefficient de réflexion comme un phaseur, $R = |R| * e^{j\theta}$. L'amplitude de R est le rayon du cercle, et θ est l'angle.

L'avantage principal de l'abaque de Smith est qu'il permet de rapidement convertir un coefficient de réflexion à des impédances, et vice-versa. On travaille généralement avec des impédances normalisées sur l'abaque de Smith.

Chapitre -2-

Les conducteurs électriques

I. Introduction:

Les supports de transmission sont nombreux. Parmi ceux-ci, on distingue : les supports métalliques, non métalliques et immatériels. Les supports métalliques, comme les paires torsadées et les câbles coaxiaux, sont les plus anciens et les plus largement utilisés ; ils transportent des courants électriques.

II. La paire torsadée:

II.1. Définition:

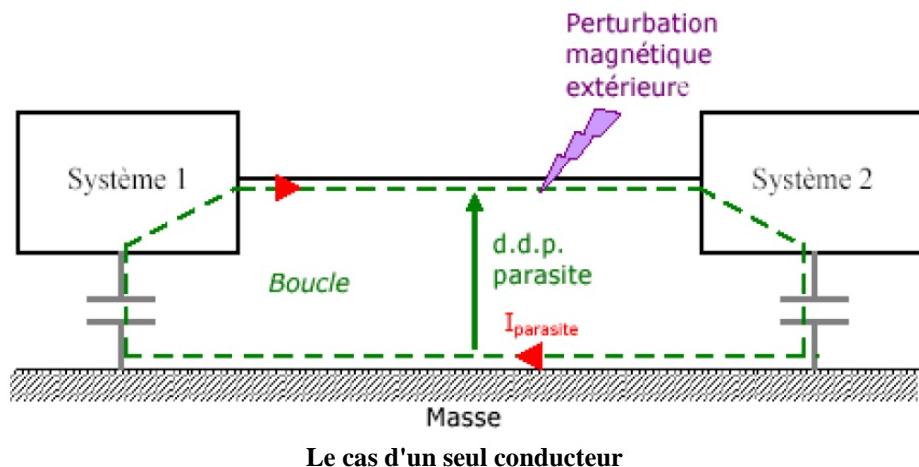
Il s'agit d'un des supports de transmission les plus anciens et qui est toujours d'actualité. La paire torsadée se compose de deux fils de cuivres isolés d'une épaisseur d'environ 1mm. Ces fils sont enroulés l'un sur l'autre de façon hélicoïdale, telle une molécule d'ADN. Cela permet d'une part, de réduire les radiations électromagnétiques perturbatrices, car les ondes rayonnées de chaque torsade s'annulent (alors que deux fils parallèles constituent une antenne rayonnante), et d'autre part, de maintenir précisément la distance entre les fils et de diminuer la diaphonie.

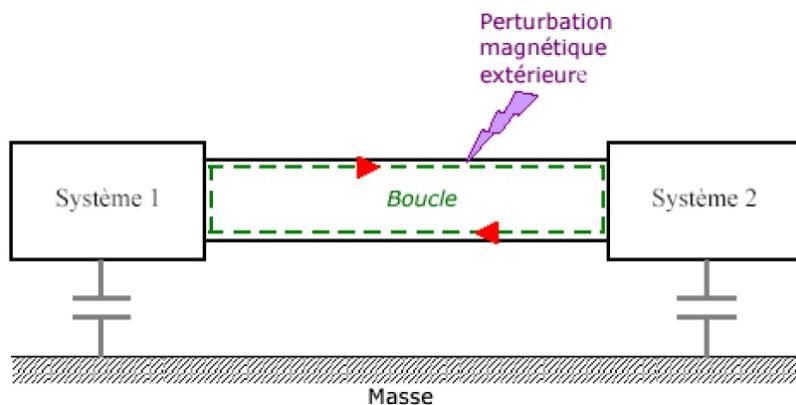


Pourquoi la torsade??

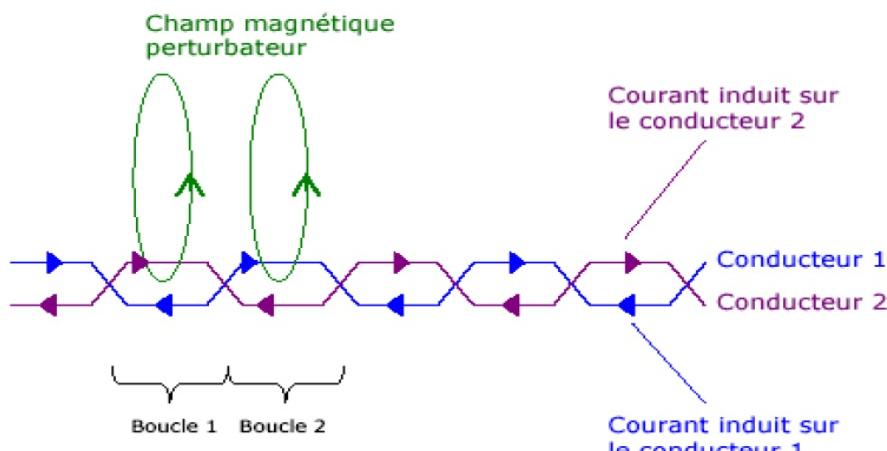
Un champ électrique variable engendre sur les conducteurs parallèles à ses lignes de champs un courant électrique. On peut dire que les conducteurs se comportent comme des véritables antennes. Pour réduire ces courants parasites on torsade les conducteurs afin :

- De réduire la surface de boucle vis-à-vis du champ électrique parasite.
- D'annuler les courants parasites en inversant le sens des boucles alternativement.





Le cas de deux conducteurs parallèles



Le cas de deux conducteurs torsadés

Le maintien de la distance entre fils de paire permet de définir une impédance caractéristique de la paire, afin de supprimer les réflexions de signaux aux raccords et en bout de ligne. Les contraintes géométriques (épaisseur de l'isolant/diamètre du fil) maintiennent cette impédance autour de 100 ohms :

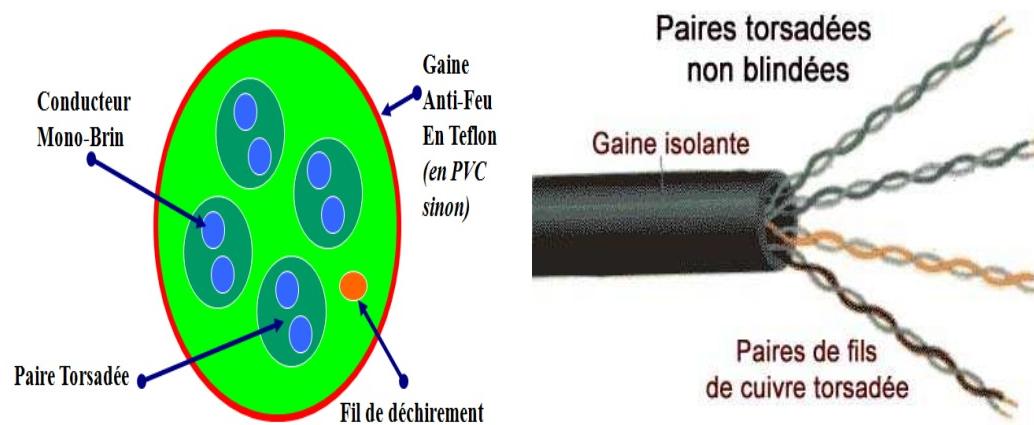
- 100 ohm pour les réseaux ethernet en étoile
- 150 ou bien 105 ohm pour les réseaux token ring
- 100 ou bien 120 ohm pour les réseaux de téléphonie
- 90 ohm pour les câbles USB.

Plus le nombre de torsades est important, plus la diaphonie est réduite. Le nombre de torsades moyen par mètre fait partie de la spécification du câble, mais chaque paire d'un câble est torsadée de manière légèrement différente pour éviter la diaphonie *qui est l'effet d'interférence que peuvent avoir deux signaux traversant des médiums qui sont physiquement rapprochés, autrement dit c'est le bruit généré par les paires adjacentes (voisines)*. L'utilisation de la signalisation différentielle symétrique permet de réduire davantage les interférences.

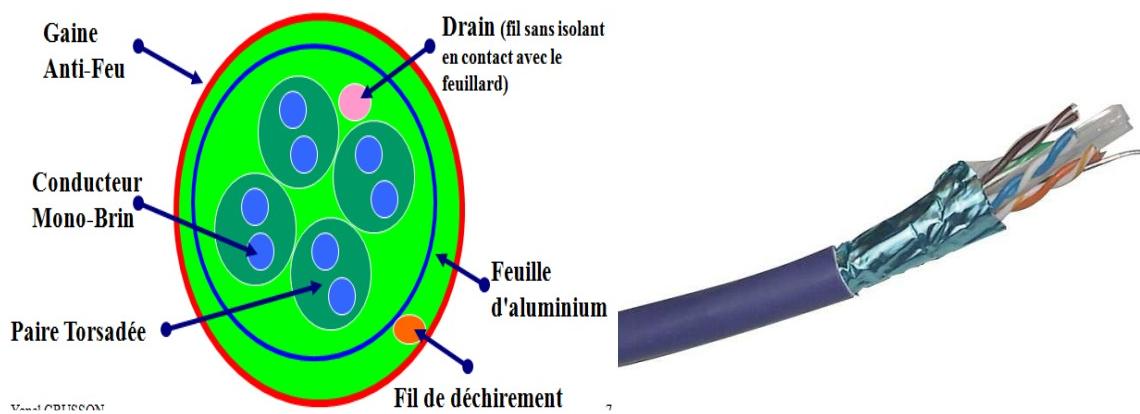
II.2. Les différents types de paires torsadées:

Les paires torsadées sont souvent blindées afin de limiter les interférences. Comme le blindage est fait de métal, celui-ci constitue également un référentiel de masse. Le blindage peut être appliqué individuellement aux paires ou à l'ensemble formé par celles-ci. Lorsque le blindage est appliqué à l'ensemble des paires, on parle d'écrantage. On définit donc, plusieurs types de paires torsadées:

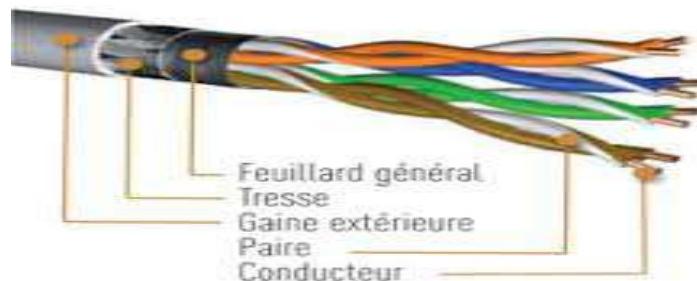
- Paire torsadée non blindée:** (UTP pour *Unshielded Twisted Pair* dénomination officielle U/UTP) n'est pas entourée d'un blindage protecteur. Autrement dit, Les 4 paires sont positionnées sous une simple gaine PVC (Acronyme de: *Chlorure de Polyvinyle: matière en plastique résistance à l'eau, le feu et aux rayons UV, ne casse pas et sans danger pour la santé*) ou LSZH (Acronyme de: *Low Smoke Zero Halogen (LSZH ou LS0H: Les câbles sans halogène ne produisent pas de combinaisons dangereuses de gaz ou d'acide ni de fumée toxique lorsqu'ils sont exposés aux flammes.*). C'est le type de câble souvent utilisé pour le téléphone et certains réseaux informatiques.



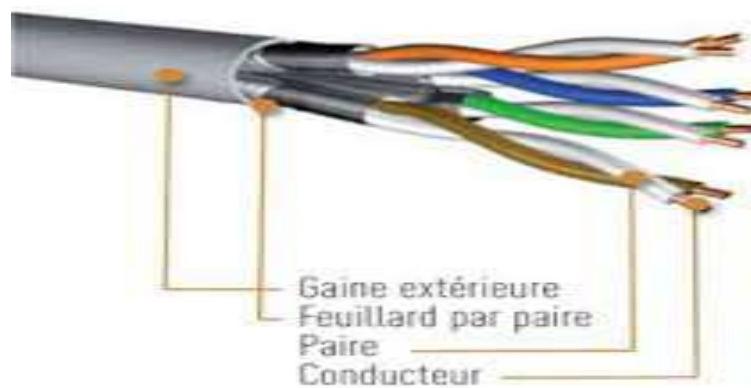
- Paire torsadée écrantée:** Foiled Twisted Pair (FTP) ou Screened Unshielded Twisted Pair dénomination officielle (F/UTP). Elles ont un blindage général assuré par une feuille d'aluminium. L'écran est disposé entre la gaine extérieure et les 4 paires torsadées. Elle est utilisée pour le téléphone et les réseaux informatiques.



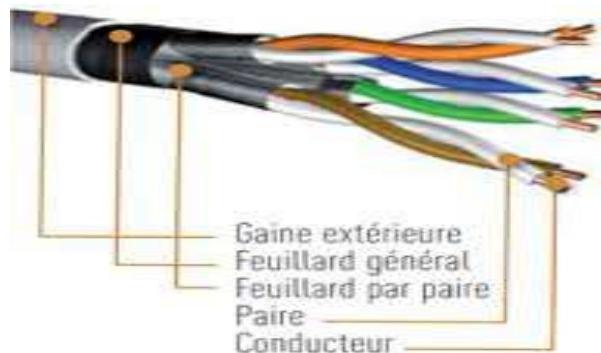
- Paire torsadée écrantée et blindée:** Shielded and Foiled Twisted Pair (SFTP) nouvelle dénomination SF/UTP. Câble doté d'un double écran commun à l'ensemble des paires (feuille métallisé et tresse métallique).



- Paire torsadée écrantée:** Nouvelle dénomination U/FTP. Pas de blindage ou d'écrantage (feuillard entouré) général. Par contre l'écrantage est individuel pour chaque paire sous une gaine PVC ou LSOH.. Cela permet une meilleure protection contre les interférences. Elle est communément utilisée dans les réseaux Token Ring.



- Paire torsadée écrantée et générale écrantée:** Nouvelle dénomination F/FTP. les 4 paires sont écrantées par un feuillard général et un feuillard individuel pour chaque paire sous une gaine PVC ou LSOH.



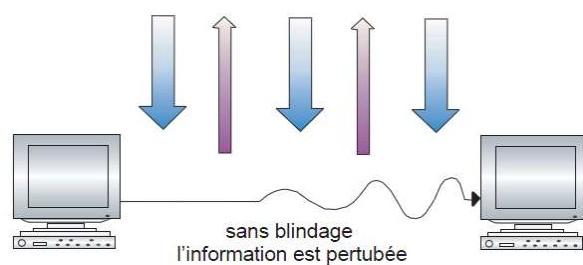
- Paire torsadée S/SFTP:** Le blindage par une tresse est général mais l'écrantage des paires est individuel (1 écran pas paires) sous une gaine en PVC ou LSOH.

Remarque: il faut arrêter de confondre FTP (file transfert Protocol) (qui est un Protocol de transfert de données, comme son nom l'indique) et FTP (Foiled Twisted Pair) qui désigne un type de fabrication de câble. Certes l'amalgame est vite fait car ce câble est utilisé plus généralement pour le transfert de données néanmoins il ne faut pas les confondre.

Informations complémentaires:

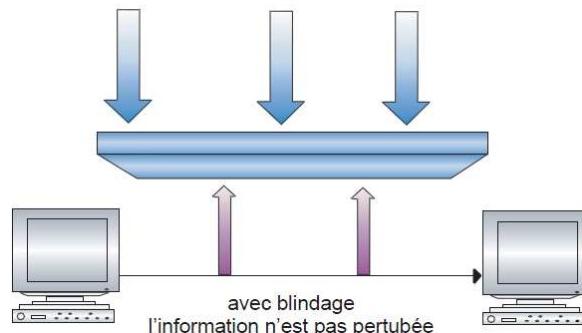
Le blindage sert de protection contre les perturbations, dont on distingue deux types: les perturbations énergétiques et non énergétiques.

Perturbations énergétiques: Ces perturbations peuvent entraîner des dommages physiques sur les systèmes électriques (foudre, décharges électrostatiques)



Perturbations non énergétiques: qui sont causes par des sources externes tels que: les radars, émetteurs radio, appareils électroniques portables, lignes haute tension pour un réseau local informatique, ces sources de perturbations peuvent entraîner :

- des dysfonctionnements aléatoires à des amplitudes modérées
- des détériorations sur la communication par de fortes amplitudes



Le rôle de l'écran est de constituer une barrière contre les champs électro-magnétiques, qu'ils soient intérieurs ou extérieurs au câble.

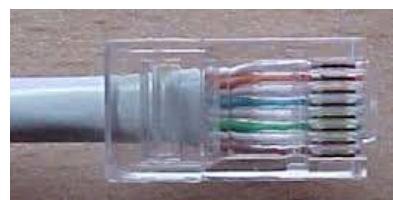
II.3. Catégories des câbles UTP:

Il existe plusieurs catégories de câbles UTP. Elles sont déterminées par le nombre de fils et le nombre de torsades de ces fils. Cela influe directement sur la vitesse de transmission. Le tableau ci-dessous présente les catégories et leur utilisation.

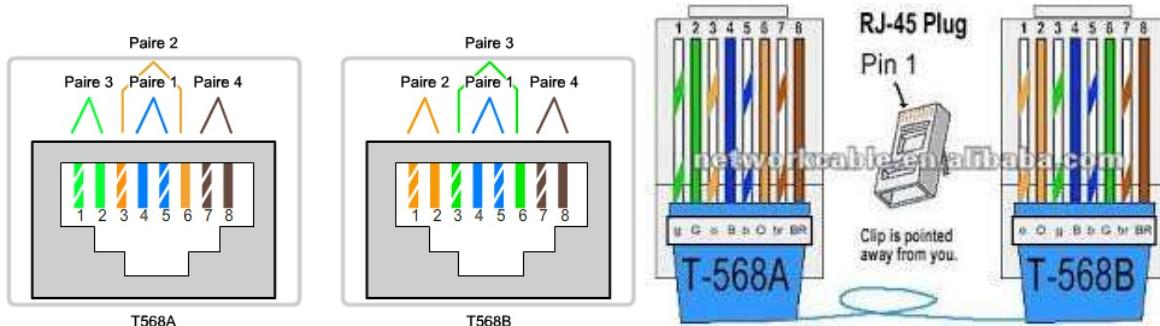
Catégorie UTP	Vitesse de transmission maximale	Caractéristiques et utilisations
Catégorie 3	16 Mbits/s	Qualité de données la plus basse ; utilisé pour la plupart des câblages téléphoniques
Catégorie 4	20 Mbits/s	Adaptée aux réseaux Ethernet 10 Mbits/s
Catégorie 5	100 Mbits/s - 1 Gbits/s	Qualité la plus utilisée pour les réseaux locaux, tout particulièrement Fast Ethernet (100 Mbits/s)
Catégorie 5e (améliorée)	155 Mbits/s	Utilisée pour Fast Ethernet et ATM (Asynchronous Transfer Mode) 155 Mbits/s
Catégories 6 et 7	1 Gbits/s minimum	Utilisée pour les nouvelles technologies Gigabit Ethernet

II.4. La connectique des câbles UTP, FTP, STP:

Le câblage UTP, terminé par des connecteurs RJ-45, est un support en cuivre courant pour l’interconnexion de périphériques réseau, tels que des ordinateurs, avec des périphériques intermédiaires, tels que des routeurs et commutateurs réseau.



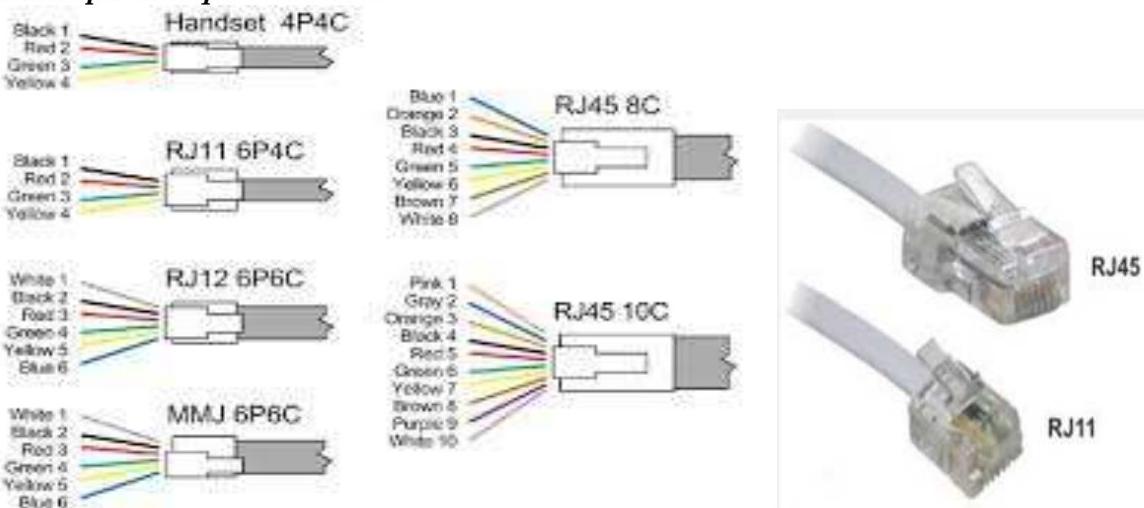
Il existe deux normes de câblage qui détermine la position des fils dans le connecteur : 568A et 568B. La seconde norme est la plus couramment utilisée.



Selon les appareils que l'on veut connecter, il faut utiliser des câbles droits (même câblage de chaque côté) ou des câbles croisés

Type de câble	Norme	Application
Ethernet direct	T568A à une extrémité, T568B à une autre extrémité	Connexion d'un hôte réseau à un périphérique réseau tel qu'un commutateur ou un concentrateur.
Croisement Ethernet	T568A aux deux extrémités ou T568B aux deux extrémités	Connexion de deux hôtes réseau. Connexion de deux périphériques intermédiaires réseau (un commutateur à un commutateur, ou un routeur à un routeur).

Remarque : Le connecteur RJ45 ressemble au RJ11 utilisé dans la téléphonie mais ce dernier est plus petit et ne possède que 4 broches.



II.5. Utilité des paires torsadées:

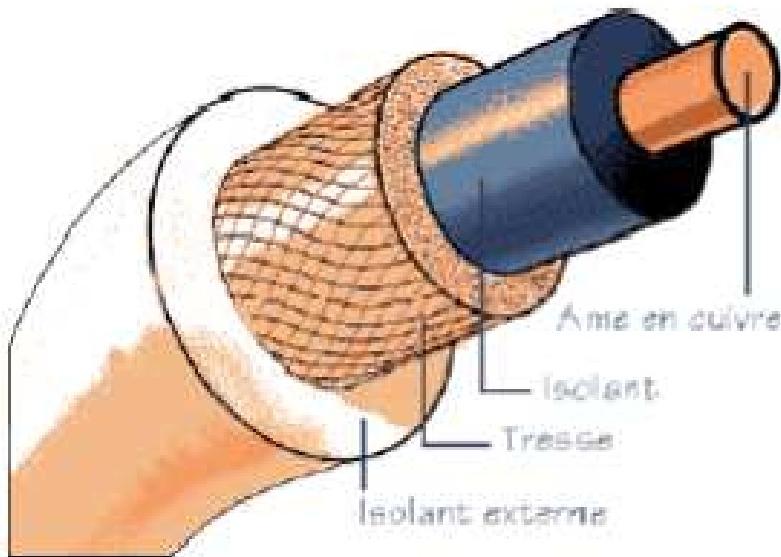
Les paires torsadées peuvent servir à transmettre des signaux analogiques ou numériques. La bande passante dépend de l'épaisseur du câble et de la distance à parcourir, mais il est possible dans la plupart des cas d'atteindre plusieurs Mbit/s sur quelques kilomètres. En raison de ses performances satisfaisantes et de son faible coût, la paire torsadée est largement utilisée et elle le sera vraisemblablement encore longtemps.

III. Câble coaxial:

Un autre support encore assez courant est le câble coaxial (souvent abrégé en coax). Il bénéficie d'une meilleure protection que la paire torsadée, ce qui lui permet d'offrir un débit élevé sur de plus longues distances.

III.1. Constitution:

Un câble coaxial se compose d'une *âme* qui est un conducteur rigide (Ame en cuivre) en cuivre enfermé dans un matériau isolant, lui même entouré d'une tresse conductrice. Une gaine en plastique protectrice (isolant externe) recouvre le tout.



* PTFE = Polytétrafluoréthylène
 ETFE = Ethylènetétrafluoréthylène
 FEP = Fluoréthylènepropylène
 PFA = Perfluoralkoxy
 CELLOFLON® = PTFE expansé



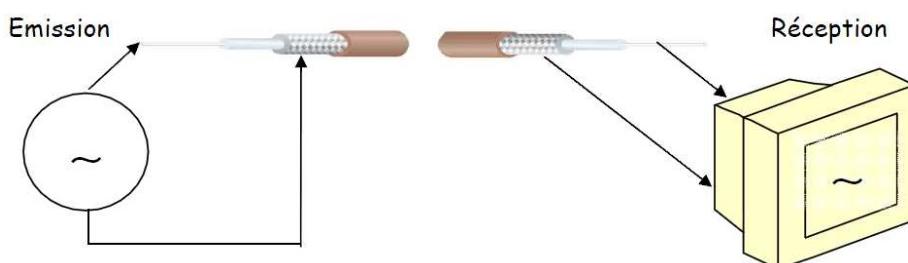
CONDUCTEUR :
 - acier revêtu de cuivre
 - cuivre argenté
 - alliage de cuivre argenté

DIELECTRIQUE* :
 - PTFE plein
 - CELLOFLON®
 - FEP

TRESSE ou CONDUCTEUR EXTERIEUR :
 cuivre argenté

GAINÉ EXTERIEURE* :
 - PTFE
 - ETFE
 - FEP
 - PFA

Dans ce type de conducteur le signal à transmettre circule dans l'âme conductrice et ce signal pour être exploitable doit être référencé par une masse dont la tresse du conducteur se charge.



III.2. Applications les plus courantes:

- Aéronautique
- Télécommunications
- Radio/télévision

- Caméras
- Appareils de mesures
- Informatique : Réseau
- Médical : Scanner, échographie..
- Militaire : Radar...

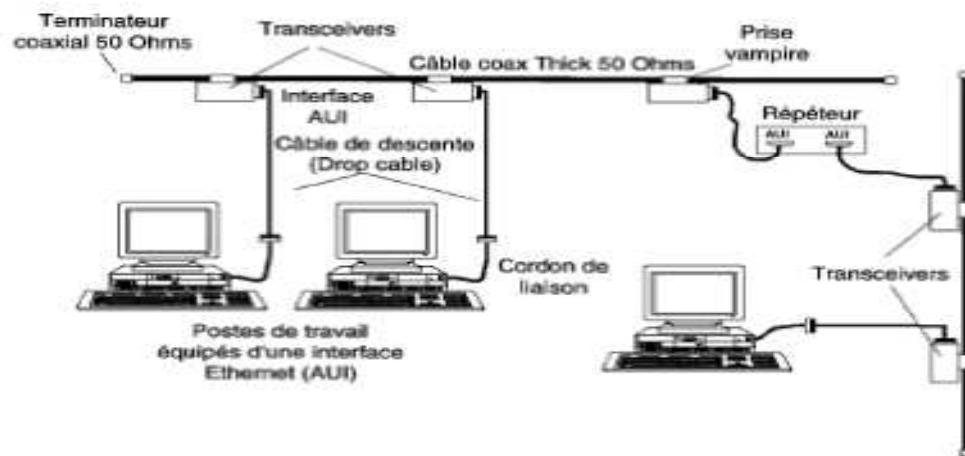
III.3. Les principales caractéristiques:

Le rôle de ce câble est de transmettre un signal le plus propre possible d'un point à un autre, aussi ces caractéristiques devront être :

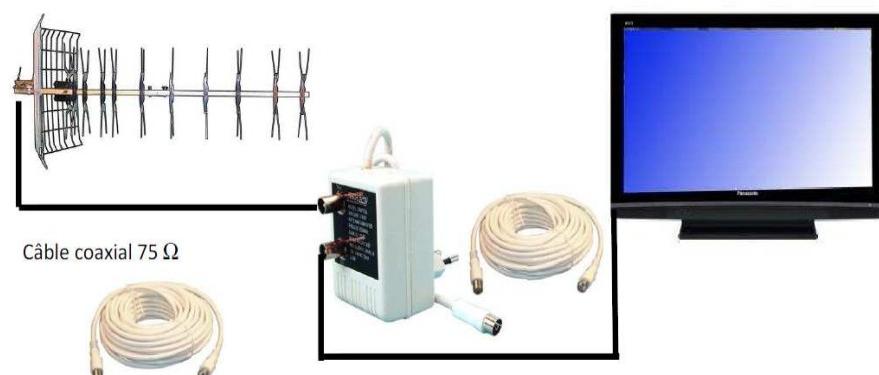
- Une fréquence de coupure à plus éloignée possible
- Une vitesse de propagation la plus élevé possible
- Une impédance conforme au circuit de la transmission (75 ohms: utilisé pour la communication analogique et la télévision par câble, et 50 ohms fréquemment utilisé dans des installations qui, dès le départ, se destinent à la transmission numérique)
- Et une atténuation ou un affaiblissement le plus faible possible.

III.4. Exemple d'application selon l'impédance :

- **Réseau informatique:** utilisation du câble coaxial 50 ohms



- **Transmission hertzienne:** utilisation du câble coaxial 75 ohms



Informations complémentaires :

Le câble coaxial était largement employé au sein du système téléphonique sur les lignes interurbaines. Il est maintenant remplacé par de la fibre optique, surtout sur les artères longue distance. Il est toutefois encore très utilisé pour la télévision par câble et sur les réseaux métropolitains.

L'avantage d'un câble coaxial sur une ligne bifilaire (constituée de deux conducteurs parallèles séparés par un diélectrique) est qu'il y a création d'un écran (cage de Faraday) qui protège le signal des perturbations électromagnétiques et qui évite que les conducteurs ne produisent eux-mêmes des perturbations. Un câble coaxial peut être placé le long des murs, gouttières ou enfoui car la présence d'objets n'influence pas la propagation du signal dans la ligne. Les pertes sont constantes au fil du temps, les particules de poussière se déposant sur le support isolant n'ayant pas d'influence sur la propagation du signal.

Il est parfois nécessaire de placer, entre la sortie de l'antenne (symétrique) et la ligne coaxial (asymétrique) un balun (*BALanced/UNbalanced*, convertisseur symétrique/asymétrique) pour optimiser le transfert de l'énergie entre l'antenne et le câble (en réception comme en émission).

Il est préférable de ne pas utiliser de câble endommagé car ses caractéristiques et ses propriétés sont alors dégradées et vos ondes pourraient déborder chez votre voisin.

La connexion à un câble coaxial doit être réalisée par l'utilisation de connecteurs coaxiaux adaptés au câble et montés en respectant les indications fournies pour conserver à l'ensemble les caractéristiques souhaitées en termes de qualité de transmission. (par exemple le connecteur BNC)



Grâce à sa constitution et son blindage, un câble coaxial offre à la fois une large bande passante et une excellente immunité contre le bruit. La largeur de bande dépend de la qualité du câble, de sa longueur et du rapport signal sur bruit. Dans les câbles modernes, elle se rapproche de 1 GHz.

Chapitre -3-

Les fibres optiques

I. Introduction:

Les supports de transmission dans le domaine des télécommunications, par exemple, fréquemment utilisés sont le fil de cuivre ou le câble coaxial.

Ces supports transportent des fréquences qui sont codées. Le codage utilisé est appelé modulation. Nous connaissons quelques types :

- modulation de fréquence,
- modulation d'amplitude,
- modulation de phase.

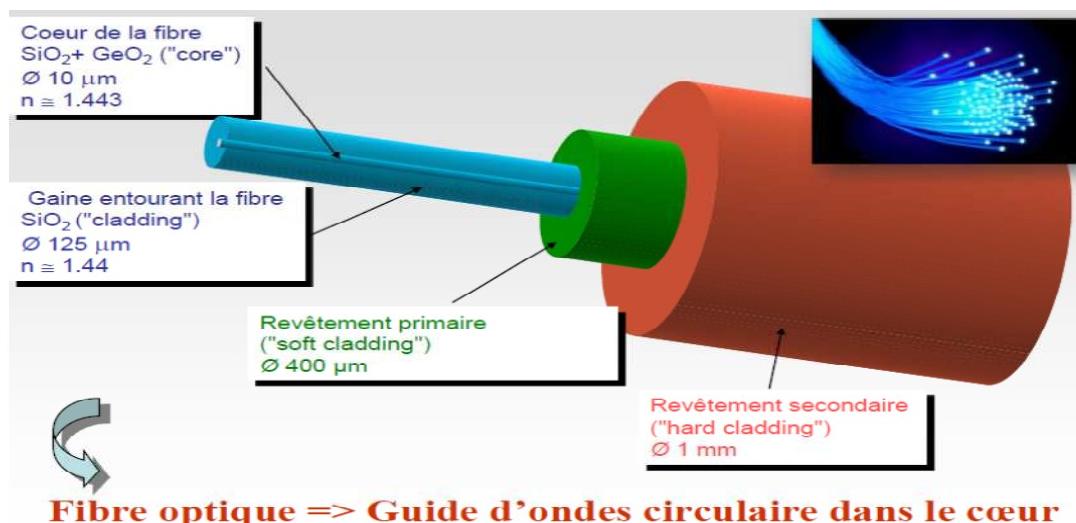
Le nombre de communications utilisées par les uns et par les autres fait que les supports traditionnels sont saturés.

De plus, ils sont limités en fréquence pour des raisons technologiques. Il a donc été nécessaire de développer un autre support de transmission : c'est la naissance de la fibre optique.

II. Descriptif:

Une fibre optique est un guide d'onde optique à symétrie circulaire. Cette onde optique codée a été préalablement converti à partir d'un signal électrique.

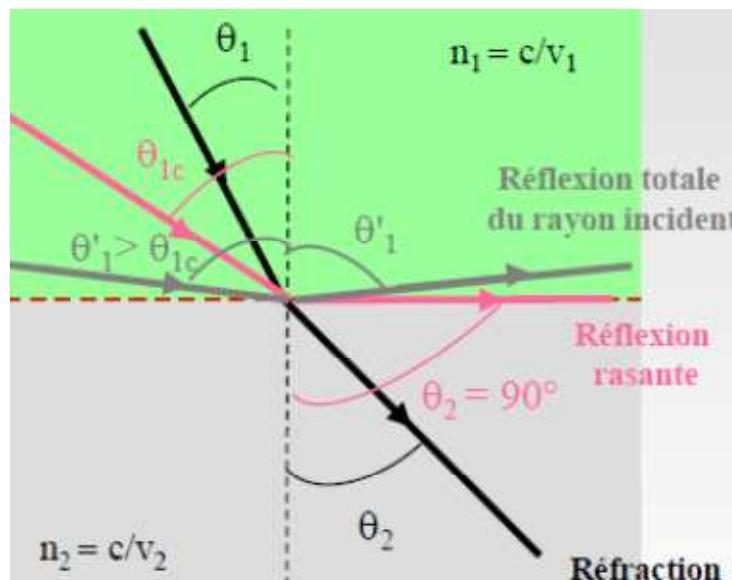
Toutes les fibres se composent d'un cœur et d'une gaine, toutes deux des matériaux transparents en verre ou en plastique. Un revêtement protecteur, en plastique souple, entoure la gaine.



- Le diamètre du cœur et de la gaine varient selon le type d'utilisation.
- La lumière se déplace au cœur de la fibre.
- Le cœur et la gaine sont des matériaux transparents, il est important que l'indice de réfraction du cœur, n_1 , soit supérieur à l'indice de réfraction de la gaine optique, n_2 . Cette information sera plus amplement développée par la suite.

III. Principes physiques:

Le principe physique majeur qui a inspiré la technologie des fibres optiques est ce qu'on appelle « la réflexion totale interne ». Ceci découle de la loi de la réfraction ainsi que celle de la réflexion. La loi correspondant à ce principe est : la loi de Descartes.



La lumière est une onde progressive qui se propage dans les milieux transparents.

Lorsqu'un faisceau lumineux arrive sur une surface de séparation de deux milieux transparents d'indice de réfraction n_1 et n_2 , il y a simultanément un faisceau réfléchi R_1 et un faisceau réfracté (ou transmis) R_2 .

Rappel : L'indice de réfraction : Chaque matériau transparent a son indice de réfraction, cette valeur permet d'évaluer la propagation de la lumière dans le matériau considéré: $v=c/n$. tel que c : célérité (300 000 km/s), V : Vitesse de la lumière dans un milieu considéré. Sachant que n sera toujours supérieur ou égal à 1

Voici donc les deux grandes lois générales dont est soumise la lumière lorsque celle-ci parcourt des milieux transparents.

A. Loi de la réfraction :

Comme le représente il y a le faisceau R_2 qui est réfracté. La relation qui prend en fonction l'angle de faisceau réfracté θ_2 et l'angle d'incidence θ_1 est : $n_1 \cdot \sin(\theta_1) = n_2 \cdot \sin(\theta_2)$.

B. Loi de la réflexion :

Lorsque un faisceau est réfléchi son angle θ' est de même valeur que l'angle d'incidence θ_1 .

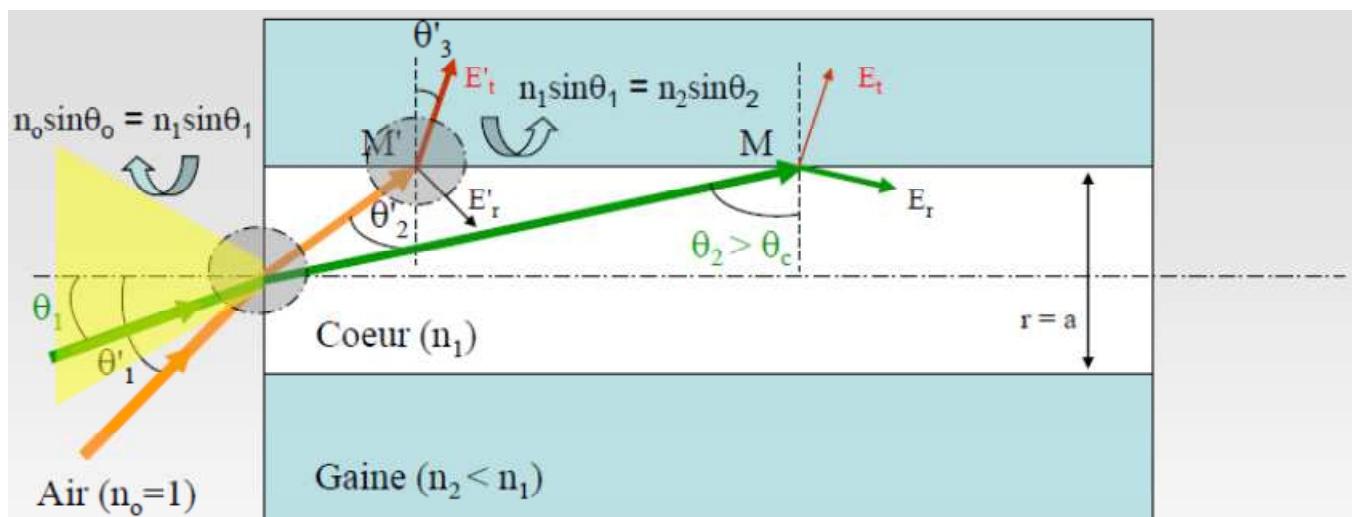
C. Angle limite (angle critique ou bien encore angle de Brewster):

Si $n_2 > n_1$, il est théoriquement possible d'avoir $\theta_2 = \pi/2$. Dans ce cas il n'y a pas réfraction. On notera θ_c (angle de Brewster) l'angle du rayon incident correspondant à $\theta_2 = \pi/2$. La loi de Descartes devient alors:

$$n_1 \cdot \sin(\theta_c) = n_2 \cdot \sin(\pi/2) = n_2$$

D'où:

$$\theta_c = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$



Rayon ----- : incidence sous $\theta_1 \Rightarrow$ Au point M : E_r forte et $E_t \approx 0$

car $\theta_2 > \theta_c = \arcsin(n_2/n_1)$ (conditions de RT)

Rayon ----- : incidence sous $\theta'_1 \Rightarrow$ Au point M' : E'_r faible et E'_t forte

car $\theta'_2 < \theta_c$ (pertes dans la gaine par réfraction)

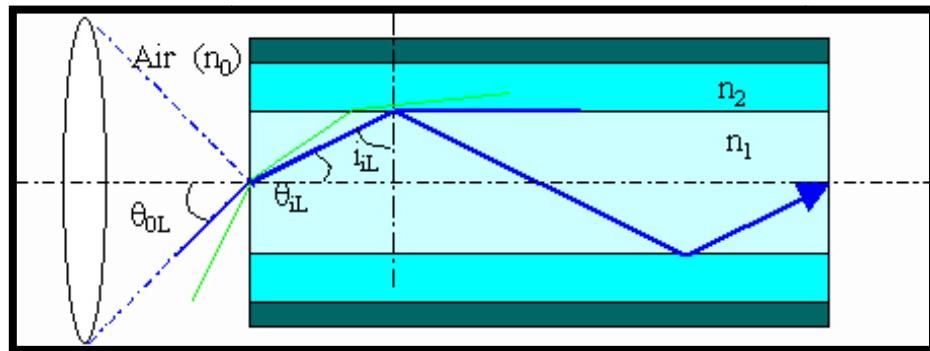
Examinons maintenant comment s'applique ces lois dans la fibre optique et comment fait-on pour que la réflexion totale interne soit respectée. Car le but de la fibre optique est que l'intensité de lumière émise à l'entrée de celle-ci soit, dans son intégralité, autant que possible retrouvée à la sortie.

IV. Ouverture Numérique:

Pour qu'un rayon lumineux arrive à la sortie de la fibre, il doit subir plusieurs réflexions tout au long de la fibre. Or à chaque réflexion une partie de la lumière est réfractée et donc absorbée par la gaine.

Le rayon finit alors par être complètement atténué. Cependant il est possible de choisir l'angle d'incidence pour qu'il n'y a pas de réfraction soit $i_1 > i_c$. Le rayon injecté en entrée arrivera donc en sortie sans aucune atténuation. On définit alors l'ouverture numérique d'une fibre optique en fonction de l'angle d'incidence limite i_c qui permet d'assurer une transmission sans pertes théorique.

Soit n_1 l'indice de réfraction du cœur, n_2 celui de la gaine et n_0 celui de l'air ($n_0 = 1$). On cherche l'angle incident θ_0 , à l'entrée de la fibre, correspondant à l'angle limite θ_{OL} .



D'après la loi de Descartes on a:

$$n_0 \cdot \sin(\theta_0) = n_1 \cdot \sin(\theta_1)$$

avec :

$$\theta_1 = \frac{\pi}{2} - i_1$$

Soit:

$$\sin(\theta_{OL}) = n_1 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} - i_{1L}\right) = n_1 \cdot \cos(i_{1L}) = n_1 \sqrt{1 - \sin^2(i_{1L})}$$

Or:

$$i_{1L} = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \Rightarrow \sin(\theta_{OL}) = n_1 \sqrt{1 - \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2}$$

On définit alors l'ouverture numérique (ON) d'une fibre par:

$$ON = \sin(\theta_{0L}) = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

Afin de faciliter l'injection de la lumière dans la fibre à l'entrée, on a intérêt à avoir l'angle limite θ_{0L} le plus grand possible. Ceci s'obtient pratiquement en choisissant des indices n_1 et n_2 très proches.

Remarque:

Si $\theta_0 < \theta_{0L}$ on aura alors une propagation par réflexion totale dans le cœur

Si $\theta_0 > \theta_{0L}$ pas de propagation (pertes dans la gaine)

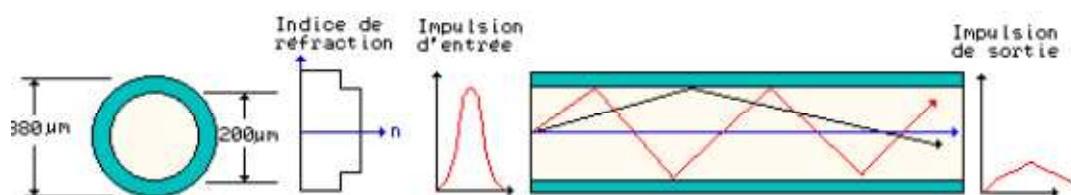
La lumière est réfléchie dans le cœur de la fibre car $n_{\text{coeur}} > n_{\text{gaine}}$

V. Les différents types de fibres optiques:

A. Les fibres optiques multimodes:

Seuls certains angles conduisent à des modes. Il est évident que la vitesse d'un mode dépend de l'angle. Le terme « multimode » signifie que plusieurs modes peuvent être guidés. Un nombre typique pour une fibre à saut d'indice est de 1000 modes (un mode correspond à un faisceau).

- A saut d'indice:



Sur la figure on peut trouver les renseignements suivant :

- Les cotations du diamètre de la gaine ainsi que du cœur.
- L'indice de réfraction.
- Un schéma représentant le trajet des faisceaux lumineux dans le cœur de la fibre, ainsi que les impulsions d'entrée et de sortie.

C'est le type de fibre le plus simple, directement issue des applications optiques traditionnelles. Dans cette fibre, le cœur est homogène et d'indice n_1 . Il est entouré d'une gaine optique d'indice n_2 inférieur à n_1 . Ces indices sont peut différents et doivent être de l'ordre de 1,5.

Quant à la gaine optique, elle joue un rôle actif dans la propagation, et ne doit pas être confondue avec le revêtement de protection déposés sur la fibre. Le rayon est guidé par la réflexion totale au niveau de l'interface cœur-gaine, sinon il est réfracté dans la gaine.

Examinons comment est appliquée la loi de Descartes dans ce type de fibres.

Pour le cas du premier faisceau lumineux (le noir), son faisceau réfracté sera dans le prolongement de la gaine et de la fibre. Donc ce dernier ne sera pas perdu puisqu'il est dans le prolongement du cœur.

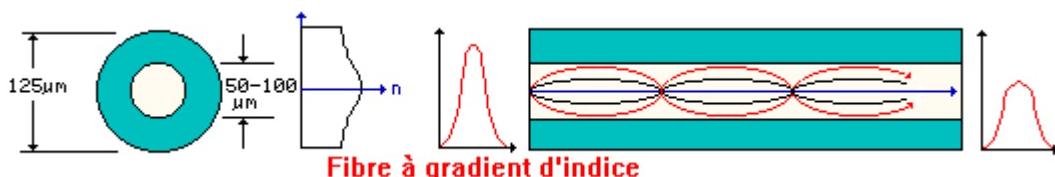
Le faisceau réfléchi, lui, se propagera dans le cœur.

Pour le second, le rouge, du fait que son angle de départ est différent de celui du premier, son faisceau réfracté ne sera plus dans le prolongement de la fibre, par conséquent il va entrer dans la gaine, c'est ici quelle intervient, elle va permettre pour certain faisceau de « récupérer » leurs faisceaux réfractés.

La capacité de transmission de ce type de fibre est d'environ 100 Mbits/s. Cette valeur correspond également à la bande passante. On peut également exprimer la bande passante en $\text{Mhz} \cdot \text{km}$. Ici pour la fibre à saut d'indice elle est de 22 $\text{Mhz} \cdot \text{km}$.

Cette capacité est assez faible car chaque rayon doit parcourir une distance différente. Par conséquent il faut à l'extrémité « attendre » que tous les faisceaux soient arrivés.

- A gradient d'indice

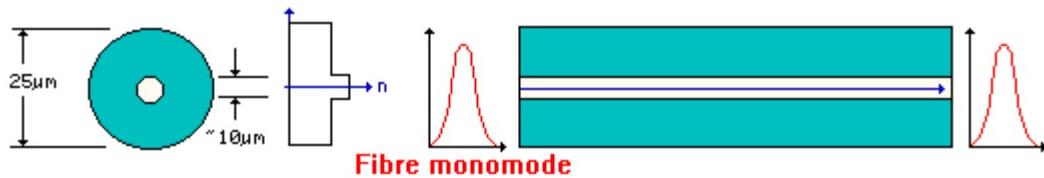


Leur cœur, contrairement aux fibres à saut d'indice, n'est pas homogène. Il est en fait constitué de plusieurs couches de verres dont l'indice de réfraction est différent à chaque couche et l'indice de réfraction diminue de l'axe jusqu'à la gaine.

Le guidage est cette fois dû à l'effet du gradient d'indice. Les rayons suivent une trajectoire d'allure sinusoïdale. La gaine n'intervient pas directement, mais élimine les rayons trop inclinés.

L'avantage avec ce type de fibre est de minimiser la dispersion du temps de propagation entre les rayons.

B. *Les fibres monomodes:*



Le but recherché dans cette fibre est que le chemin que doit parcourir le faisceau soit le plus direct possible. Pour cela on réduit fortement le diamètre du cœur qui est dans la plupart des cas inférieur à 10 μm.

La dispersion modale est quasi nulle. Comme on ne casse pas le faisceau lumineux la bande passante est donc augmentée, environ 100 Ghz*km ou de 1000 Mbits/s.

La fibre monomode classique est à saut d'indice. Son diamètre permet la propagation d'un seul mode, le fondamental ; comme un seul mode se propage il n'y a pas de différence de vitesse contrairement aux fibres multimodes.

Du fait de ce précieux avantage, elle a pris une ampleur considérable dans les transmissions sur de grandes distances.

C. Bilan général des différentes fibres étudiées:

Etant donné qu'il y a différentes structures de fibres, elles ont par conséquent des capacités et des caractéristiques différentes. Le tableau suivant donne un bref récapitulatif des avantages et des inconvénients de chaque structure.

Structures	Avantages	Inconvénients
Multimode à saut d'indice	<ul style="list-style-type: none"> • Faible prix • Facilité de mise en œuvre 	Perte et distorsion importante du signal
Multimode à gradient d'indice	<ul style="list-style-type: none"> • Bande passante raisonnable • Bonne qualité de transmission 	Difficile à mettre en œuvre
Monomode	<ul style="list-style-type: none"> • Très grande bande passante • Aucune distorsion 	Prix très élevé

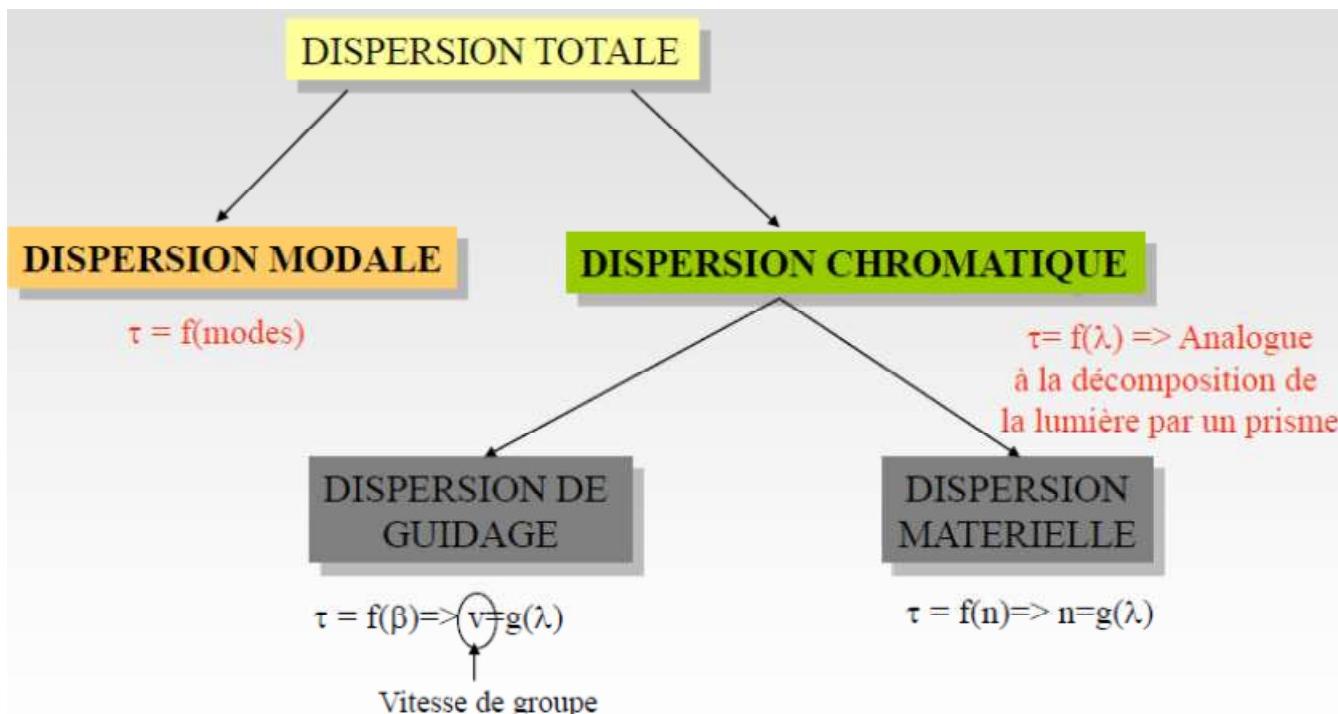
VI. Dispersion multimode des différentes fibres:

A plusieurs reprises il a été fait mention de dispersion dans les parties précédentes. Dans une fibre multimode, la puissance optique se divise en de nombreux modes qui « voyagent » à des vitesses différentes. On observe par conséquent un effet d'élargissement d'impulsion à la fin de la fibre, effet plus sensible dans le cas d'une fibre à saut d'indice.

Dans une fibre à gradient d'indice, les différences de vitesse sont bien inférieures, ce qui s'obtient en augmentant la vitesse des modes d'ordre supérieur pour compenser la longueur de trajet plus importante. Ceci conduit à un élargissement d'impulsion moindre, respectivement à une bande passante plus élevée.

Dans une fibre monomode, toute la puissance optique est transportée via un mode unique. Donc les impulsions d'entrée et de sortie auront la même force. On n'observe aucun élargissement d'impulsion. Par conséquent, la dispersion multimodale d'une fibre monomode peut être considérée comme négligeable.

Remarque : La bande passante et la dispersion multimodale sont liées par la relation : bande passante = $0.44/\text{dispersion}$.



a) Dispersion chromatique:

A 10 Gb/s, outre l'atténuation linéaire, la principale limite quant à la distance maximale de transmission provient de la dispersion chromatique. Pourquoi ? Parce que les caractéristiques de la fibre font en sorte que la vitesse de propagation de la lumière dépend de sa longueur d'onde. Or, un signal module par une information n'a pas une largeur spectrale nulle. Pour un signal à 10 Gb/s, la largeur du spectre est typiquement d'environ 25 GHz. Cela signifie que l'information n'est pas transmise sur une seule longueur d'onde, mais bien sur un continuum de longueurs d'onde différentes. Ces longueurs d'onde voyageant à des vitesses différentes, elles ne prennent pas le même temps pour parcourir la même distance. Cela cause donc un élargissement des impulsions et éventuellement de l'interférence intersymbole. Quelles sont les causes physiques de ce phénomène ? Comment mesurer et visualiser l'impact sur le signal ?

- Causes physiques:

Dans la fibre optique, il existe deux causes à la dispersion chromatique [PUREUR et coll., 2004]. D'une part, l'indice de réfraction de la silice, le matériau dont on se sert pour fabriquer la fibre optique, varie en fonction de la longueur d'onde. Or, l'indice de réfraction détermine la vitesse de propagation de l'onde dans le matériau. Par conséquent, à cause de la silice, la vitesse de propagation dans la fibre

optique dépend de la longueur d'onde. C'est ce qu'on appelle la dispersion du matériau. D'autre part, l'indice de réfraction effectif du mode de polarisation fondamental dépend des dimensions du guide par rapport à la longueur d'onde. La forme de la fibre optique fait donc elle aussi en sorte que la vitesse de propagation dépend de la longueur d'onde. C'est ce qu'on appelle la dispersion de forme. Le terme dispersion chromatique représente donc le résultat de la dispersion du matériau et de la dispersion de forme.

- Impact sur le signal:

Une façon pratique de visualiser l'effet de la dispersion chromatique est le diagramme d'œil. Celui-ci est une superposition des signaux reçus sur une période d'un bit. La figure ci-dessous, tirée de [WINZER et coll., 2005], présente deux diagrammes d'œil, l'un sans et l'autre avec dispersion chromatique. On remarque que le diagramme d'œil avec dispersion chromatique est plus ferme et qu'il est donc plus difficile de distinguer les '1' des '0'.

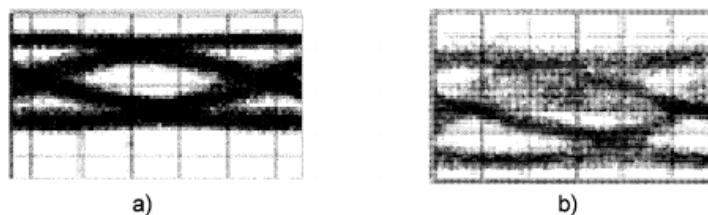


Diagramme d'œil (a): sain, (b): avec dispersion chromatique

Une métrique importante à connaître est le taux de dispersion chromatique qui caractérise la fibre transportant la lumière. Exprimée en ps/(nm*km), cette métrique indique le retard de propagation entre deux ondes selon la différence entre leur longueur d'onde et selon la distance parcourue. Cela permet d'estimer l'élargissement temporel d'un signal en connaissant sa largeur de bande et la longueur totale du lien. Pour limiter le taux d'erreur, il ne faut pas que cet élargissement temporel dépasse une certaine fraction de la période d'un bit, sinon l'impulsion d'un bit déborde sur le bit suivant et il y a interférence.

Dans un système de communication par fibre optique sans compensation de la dispersion chromatique, il est possible, jusqu'à une certaine limite, d'augmenter la puissance du signal pour contrer l'impact de la dispersion chromatique. Cela correspond à une pénalité de puissance dans le budget de puissance du lien de communication concerné, puisqu'il faut réservé dans ce but une partie de la puissance disponible, puissance qui pourrait plutôt, par exemple, permettre d'augmenter la longueur du lien ou de réduire le besoin d'amplification. Pour déterminer la pénalité de puissance causée par la dispersion chromatique, l'équation de base est la suivante:

$$|D(\lambda)| * L * B * \Delta\lambda < \varepsilon$$

$|D(\lambda)|$: taux de dispersion chromatique de la fibre (en $\frac{s}{nm * km}$)

L : Longueur de la fibre (en km)

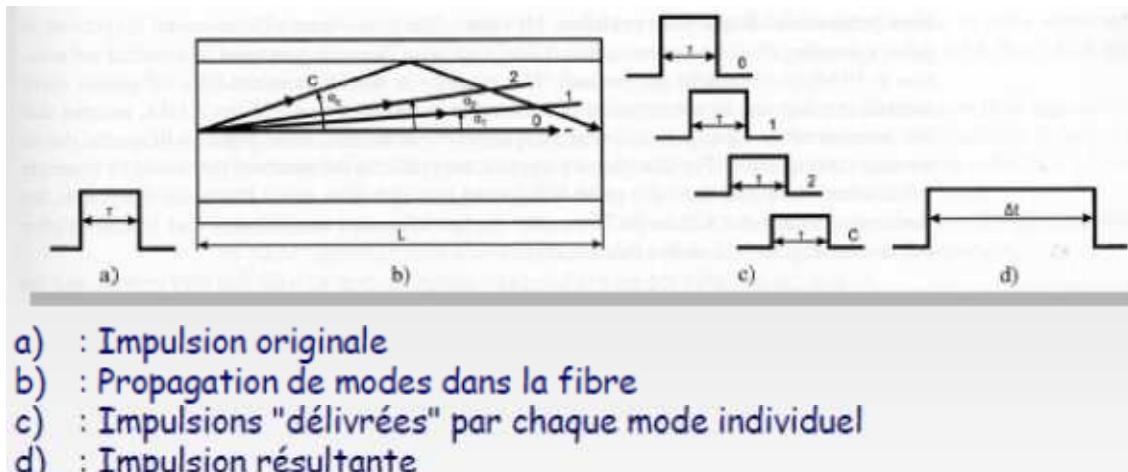
B : Débit de l'information transportée (en $\frac{b}{s}$)

$\Delta\lambda$: Largeur spectrale du signal transporté (en nm)

ε : Fraction de la période d'un bit sur laquelle l'énergie est dispersée par la dispersion chromatique

b) Dispersion de modes ou dispersion modale:

Origine : élargissement temporel lié au retard mis par chaque rayon sous ai qui ne parcourt pas la même distance dans le cœur de la fibre.



$$\Delta t_m(ns) = t_c - t_0 = \frac{L * n_1}{c} \left(\frac{n_1 - n_2}{n_2} \right) = \frac{L}{2cn_2} (ON)^2$$

$$\tau_m = \frac{\Delta t_m}{L} \quad [\text{Coefficient de dispersion modale en ns/km}]$$

Quelques données typiques :

Type de fibre	Dispersion multimode
Fibre à saut d'indice	20 ns/km
Fibre à gradient d'indice	440 ps/km
Fibre monomode	9 ps/km

VI. Les applications de la fibre optique:

A. Les télécommunications:

De nos jours il faut que les informations se propagent très vite. Pour cela ces dernières sont envoyées par les réseaux qui permettent de mettre en relation un grand nombre de personnes. La communication et un échange important d'information sont possible grâce aux réseaux.

De plus en plus de ces réseaux utilise comme moyen de transmission la fibre optique ; son utilisation permet la réception et l'émission de données de manière très rapide et avec une plus grande sûreté de transmission.

En téléphonie, les câbles coaxiaux sont remplacés peu à peu par des fibres optiques. En effet, la fibre optique est plus économique sur longues distances et le nombre de composants est moins important.

La fibre optique a également été retenue dans ce domaine, car sur de longues distances, son affaiblissement faible évite des récepteurs supplémentaires, à la différence du coaxial et des liaisons hertziennes.

Le premier réseau urbain en fibre optique date de 1980 à Paris, entre deux centraux électroniques. Les premières commandes ont été passées en 1982 et le début des réalisations massives remonte à 1983.

L'utilisation des fibres monomodes débute en 1987. Actuellement $\frac{3}{4}$ des fibres sont installées en région parisienne entre des centraux téléphoniques. Elles fonctionnent sans récepteurs à 34 Mbits/s. Fin 1988, 150 000 km de fibres optiques étaient en service et 300 000 km étaient commandés.

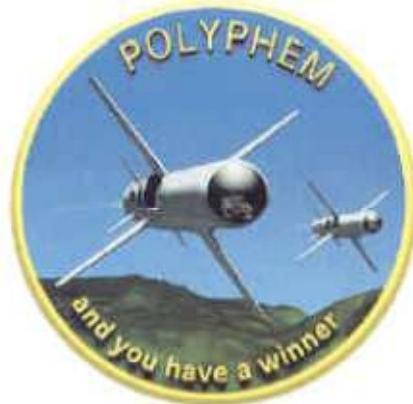
B. Les réseaux sous-marins:

Pour répondre à l'explosion de la demande de réseaux de télécommunication à forte capacité, des milliers de kilomètres de câbles sous-marins à fibres optiques sont posés au fond des mers partout dans le monde.

Les réseaux sous-marins offrent les capacités et les débits requis pour transporter le volume de données générées par l'Internet. Certain groupe sont capable d'offrir des solutions intégrées qui associent les réseaux sous-marins aux systèmes terrestres, radio et satellitaires.

C. L'armée:

Son utilisation est également intéressante pour les militaires car elles propose de nombreux avantages comme son faible poids, sa faible taille, et son insensibilité au brouillage et à la détection. Une nouvelle application vient d'être inventé à savoir le missile à fibre optique : Le Polyphem.



C'est le genre d'information qu'il faut faire répéter tant elle paraît incroyable : imaginez un missile qui file à plus de 500 km/h, dévidant derrière lui une bobine de fibre optique qui le relie au poste de tir, et qui permet de le guider jusqu'à sa cible via un opérateur agissant grâce à une caméra embarquée.

La fibre optique, d'un diamètre de quelques microns, flotte au gré du vent sur plusieurs dizaines de kilomètres. Comme l'explique son "inventeur", Alain Rageot, chef de projet pour la bobine de fibre, "dans les situations de guerres modernes, les dispositifs de brouillage et certaines radiations électromagnétiques empêchent les guidages par télécommunications hertziennes, de plus, celles ci sont limitées par le relief environnant. D'où l'idée de mettre un fil à la patte du missile pour contrôler son vol jusqu'à l'impact".

D. Applications diverses:

La fibre optique est utilisée dans le domaine de la médecine pour filmer des endroits sensibles ou inaccessibles du corps humain, du fait de la réalisation de caméra et de câbles de très petite taille.

Avec de la fibre optique on peut calculer la distance d'un objet par rapport à un autre, des vitesses de rotation, des vibrations. Mais tous ces petits systèmes sont plus précis que les autres systèmes de même utilité mais utilisant d'autre technologie de détection.

Pour finir, on peut citer une utilisation qui n'offre aucune utilité à part celle de l'esthétique et de la décoration, ce sont les « fleurs » en fibres optiques dont leurs extrémités brillent de toutes les couleurs.

Chapitre -4-

Les faisceaux Hertziens

I. Introduction:

Les liaisons par faisceaux Hertziens. C'est le support irremplaçable et incomparable dans les cas difficiles. Lorsque les infrastructures câblées sont inexistantes, ou lorsque les distances sont importantes. Dans ces types de liaisons, l'installation utilisée pour transmettre le signal va dépendre de la fréquence que l'on souhaite utiliser pour établir la liaison. La fréquence est elle-même dépendante de la distance séparant les 2 points de la liaison.

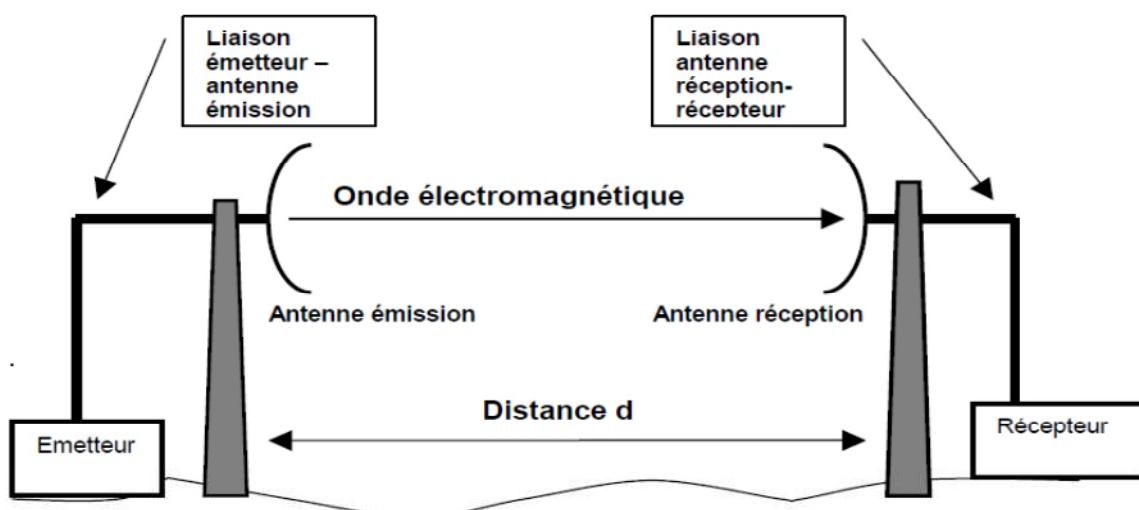
II. Définition:

Un faisceau hertzien est un faisceau d'ondes radioélectriques ($500\text{KHz} < \text{fréquence} < 20\text{GHz}$) permet la transmission en ligne droite, à l'air libre, d'informations entre deux points fixes appelés stations relais.

Les faisceaux hertziens reposent sur l'utilisation de fréquences très élevées (de 2 GHz à 15 GHz et jusqu'à 40 GHz) et de faisceaux directifs produits par des antennes directionnelles émettant dans une direction donnée. La propagation des ondes est limitée à l'horizon optique ; la transmission se fait entre des stations placées en hauteur, par exemple au sommet d'une colline, pour éviter les obstacles dus aux constructions. Les faisceaux hertziens s'utilisent pour la transmission par satellite, pour celle des chaînes de télévision ou pour constituer des artères de transmission longues distances dans les réseaux téléphoniques.

III. Constitution:

Le schéma de principe d'une liaison hertzienne est dans le cas général le suivant :



- **Emetteur :** Il est caractérisé par sa puissance émise P_E . Ici P_E sera exprimée en dBm ou dBW.

- **Liaison émetteur- antenne émission :** elle est généralement réalisée en câble coaxial. A plus haute fréquence (supérieures à quelques GHz), elle peut être réalisée en guide d'onde. Elle est caractérisée par son atténuation L_E , exprimée en dB. Dans les petits systèmes, où tout est intégré (WiFi, téléphone mobile, etc..) cette liaison n'existe pas ($L_E = 0\text{dB}$)
- **Antenne émission :** Elle est caractérisée par son Gain d'antenne G_E , exprimé en dBi.
- **Distance d :** c'est la distance entre l'émetteur et le récepteur. On peut montrer (à partir du calcul de la sphère de l'antenne isotrope et de la définition du gain d'antenne), que la distance entre l'émetteur et le récepteur, introduit une atténuation A_{EL} (pour atténuation en espace libre) égale à :

$$A_{EL} = 20 * \log \left(\frac{4 * \pi * d}{\lambda} \right)$$

- **Liaison antenne réception- récepteur :** comme la liaison émetteur-antenne émission, la liaison antenne réception-récepteur est caractérisée par l'atténuation LR , exprimée en dB.
- **Antenne réception :** Elle est caractérisée par son gain d'antenne GR , exprimé en dBi.
- **Récepteur :** Le paramètre qui nous intéresse ici est PR , puissance reçue par le récepteur. Elle est généralement exprimée en dBm.

IV. Caractéristiques:

Les faisceaux hertziens présentent certaines caractéristiques :

- **La sécurité :** la liaison par faisceau hertzien doit donner une sécurité, c'est ainsi qu'on l'équipe de station avec des matériels radios de très grandes fiabilité c'est-à-dire de très haute fréquence et on utilise des antennes extrêmement directives à des gains qui peuvent atteindre plusieurs dizaines de dB ;
- **Duplex :** la transmission se fait dans les deux sens (bilatérales, elles doivent se faire simultanée, donc elle suppose l'emploi de deux fréquences distinctes dans les deux sens) ;
- **Une succession des stations relais** ayant pour chaque sens de transmission des émetteurs, des récepteurs et des antennes ;
- **Un SNR:** rapport signal bruit(S/B) élevé ;
- **Le réglage:** se fait à l'aide des appareils de mesure appropriés avec une procédure bien établie.

V. Structure d'une liaison par faisceau hertzien:

Le faisceau hertzien est un système de type « pseudo-u-fils fréquentiel » car le deux sens de transmissions sont portés par des fréquences différentes. Les antennes sont généralement communes aux deux sens. Le trajet hertzien entre un émetteur et un récepteur constitue un bond. Les conditions de propulsion (distance visibilités) obligent souvent à diviser une liaison en plusieurs bonds séparés par des stations relais qui reçoivent le signal hyperfréquence, l'amplifient et le remettent, généralement avec une autre porteuse, en direction de la station suivante. Dans de cas exceptionnels, des relais passifs (plan réflecteur) peuvent permettre de contourner un obstacle.

La modulation (analogique ou analogique discrète) se fait à une fréquence intermédiaire de 70 ou 140 Mhz. Le signal ainsi modulé est transporté dans le domaine des hyperfréquences par mélange avec la fréquence d'un oscillateur local afin d'obtenir la fréquence porteuse utilisée pour la transmission hertzienne.

Choix des fréquences porteuses:

Le domaine des faisceaux hertziens s'étend de 250 Mhz à environ 22 GHz dans ce domaine, seules certaines bandes de fréquences bien définies ont été attribuées aux faisceaux hertziens terrestres. La partie inférieure du domaine n'offre que des bandes relativement étroites et ne convient qu'à des systèmes de faibles capacités. La plupart de faisceau hertzien se situe au-dessus de 17 GHz.

Par convention internationale (UIT-R), les bandes attribuées ont été divisées en canaux pour les deux sens de transmissions de chaque bond de faisceau hertzien dans un réseau dense (plan de fréquence) est une opération qui doit tenir compte :

- Des couplages parasites possible entre antennes situées sur le même support ; d'interfaces entre faisceau voisin due à l'imparfaite directivité des antennes ;
- De la possibilité d'altérer la polarisation (horizontale ou verticale) dans les canaux adjacents ;
- De la sélectivité des récepteurs ;
- D'un souci d'utilisation optimale du domaine fréquentiel disponible.

VI. Organisation des liaisons hertziennes:

D'une manière générale, une liaison hertzienne comprend :

- D'une ou plusieurs stations relais utilisant des émetteurs-récepteurs dirigés dans le sens opposé. Mais il est à remarquer qu'une liaison hertzienne peut aussi être constituée uniquement de deux stations terminales et nous signalons aussi que dans tous le cas les deux sens de transmissions portent deux fréquences différentes.
- Les antennes sont généralement communes aux deux sens et les trajets entre l'émetteur d'une station et le récepteur d'une station suivante constituent un bond.
- Notons que l'emploie des stations relais se justifie à cause des conditions de propagation (distance, visibilité) et elles sont dotées d'amplificateurs qui font amplifier les signaux reçus avant les émetteurs (fonction amplification), une station relais peut être **active**: *dans le cas où elle nécessite une source d'énergie* ou **passive**: *si elle est dotée d'un miroir métallique à couche réfléchissante et ne nécessitant pas une source d'énergie pour son fonctionnement.*

Du point de vue de l'utilisation, les liaisons hertziennes se diffèrent par les nombres des canaux normaux et des canaux de secours.

On trouve des liaisons faisceaux hertziens :

- 1+0= un seul canal normal et on n'a pas un canal de secours
- 1+1= un canal normal + un canal de secours
- 2+1= deux canaux normaux + un canal de secours

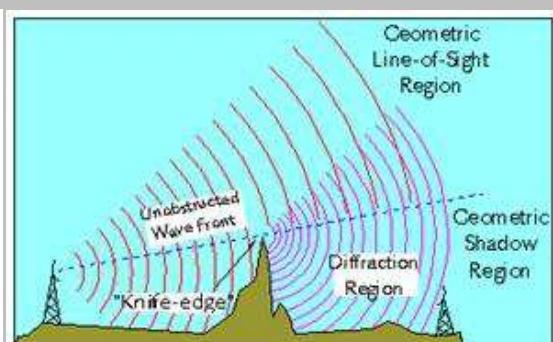
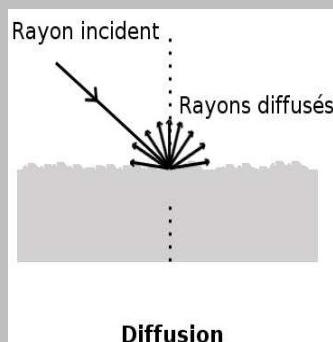
VII. Types de faisceaux hertziens:

Il existe deux types de faisceaux hertziens à savoir :

- **Le faisceau hertzien à visibilité directe:** Les faisceaux hertziens à visibilité directe sont ceux dans lesquels les transferts radio électrique entre les deux stations terminales sont suffisamment dégagés de tout obstacle sans encombrement. Les ondes ultracourtes se propagent en ligne droite comme des ondes lumineuses nécessitent une vision directe entre les antennes d'émission et de réception. Le phénomène de diffraction donc dans ce cas à une influence négligeable sur le réseau du signal vécu, la distance entre station est composé entre 50 et 60 km. Les dimensions des antennes doivent être grande par rapport à la longueur d'onde (c'est -à-dire le diamètre plus élevé que la longueur d'onde). Les faisceaux hertziens à visibilité directe présentent quelques avantages: La transmission simultanée de plusieurs milliers des voies à la possibilité de transmettre les canaux de télécommunication mais le nombre élevé des stations relais tout les 50 km constituent un inconvénient pour les faisceaux hertziens à visibilité directe. Cette condition limite la portée des liaisons hertziennes sans relais.
- **Le faisceau hertzien transhorizon ou troposphérique:** Une liaison est transhorizon lorsqu'elle va au-delà de l'horizon. On réalise une diversité d'espace et des fréquences pour améliorer la qualité de la liaison contrairement au précédent, la distance entre station n'étant pas limitée par condition de visibilité. On peut placer des stations relais à proximité des agglomérations que l'on veut desservir. Les faisceaux hertziens transhorizon nécessitent les puissances tellement plus grandes avec un nombre de voies assez réduit ne dépassent pas 10 voies téléphoniques. Les faisceaux hertziens transhorizon utilisent la **diffusion** et la **diffraction** des ondes électriques dans la zone turbulente de la troposphère pour établir la liaison entre les antennes.

Informations complémentaires: la diffusion et la diffraction:

Dans la propagation d'une onde électromagnétique, l'**effet de lame de couteau (knife edge)** ou **effet de "bord" "diffraction"** sont une redirection d'une partie de la radiation incidente qui frappe un obstacle bien défini comme la crête d'une chaîne de montagnes ou le bord, l'angle d'une construction. Le principe Huygens-Fresnel explique l'**effet de lame de couteau**, qui énonce qu'une obstruction bien définie pour une onde électromagnétique agit comme une source secondaire et crée un nouveau front d'ondes. Ce nouveau front d'ondes se propage dans le secteur masqué géométrique de l'obstacle.



VIII. Structure de l'émission/réception pour les faisceaux hertziens:

La modulation en fréquence intermédiaire fi permet de :

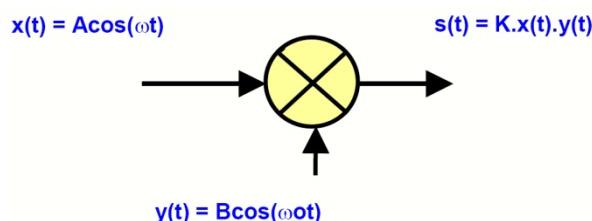
- Simplifier des technologies
- Travailler indépendamment de la fréquence porteuse l'émetteur transpose le signal en hyperfréquence et l'amplifie.

Le récepteur amplifie et égalise le signal reçu et le transpose en fi.

a) Transposition de fréquences:

La solution pour transporter un signal à distance consiste à transposer la fréquence du signal de départ en utilisant la fréquence de la porteuse est générée à l'aide d'un oscillateur, celui peut contenir habituellement un quartz pour définir f_e avec précision.

On l'appelle aussi cette fonction « **MELANGEUR** » ou « **MULTIPLIEUR** » en effet, elle revient mathématiquement à multiplier entre eux, les deux signaux sinusoïdaux injectés sur ses 2 entrées. Le mélangeur est un dispositif à deux entrées et une sortie qui effectue, sur les signaux appliqués sur les entrées, une opération non-linéaire de multiplication :



Le signal en sortie du mélangeur s'écrit:

$$s(t) = K.x(t).y(t) = K.A \cos(\omega t).B \cos(\omega_0 t) = \frac{1}{2}K.A.B \cos(\omega + \omega_0)t + \frac{1}{2}K.A.B \cos(\omega - \omega_0)t$$

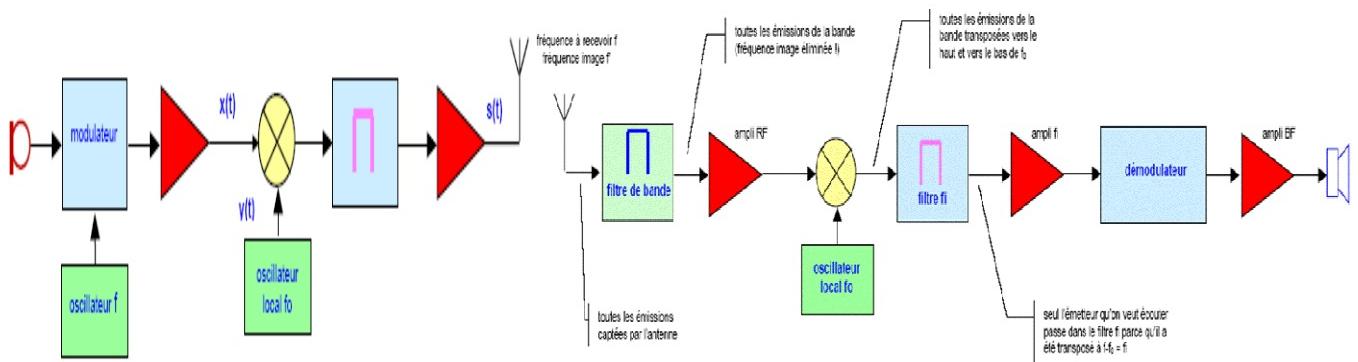
Il est composé de deux signaux sinusoïdaux aux fréquences somme ($f+f_0$) et différence ($f-f_0$).

b) Organisation fonctionnelle d'un émetteur/récepteur:

La liaison par voie radioélectrique peut se décomposer en 3 parties : l'émetteur, le canal de transmission et le récepteur.

Le rôle de l'émetteur est de convertir le message à transmettre sous forme d'un signal électrique modulé et transposé à la fréquence d'émission, plus d'amplifier en puissance d'émetteur sur l'antenne.

Quand au récepteur, à partir d'une antenne, il devra restituer le message le plus fidèlement possible.



IX. Condition de bon fonctionnement d'une liaison hertzienne:

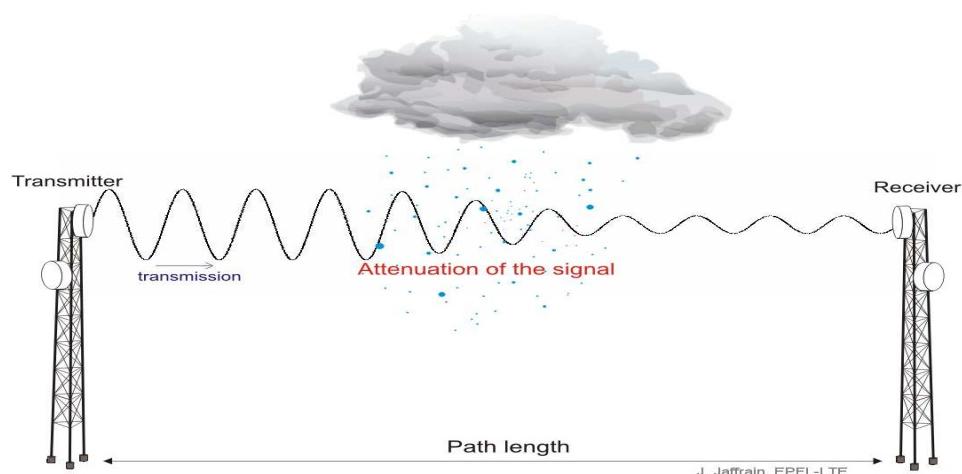
Pour qu'une liaison hertzienne fonctionne correctement, il faut que la puissance reçue soit supérieure à la sensibilité du récepteur.

Sensibilité d'un récepteur: nous nous contenterons ici d'en donner une définition et une signification pratique.

Définition: La sensibilité d'un récepteur est l'amplitude du signal qu'il faut appliquer à son entrée pour obtenir à la sortie du démodulateur un rapport signal/bruit déterminé (transmission analogique) ou un taux d'erreur donné en transmission numérique (10^{-3} ou 10^{-6}).

Signification: C'est la puissance minimale en dessous de laquelle la qualité de la liaison est dégradée : craquements importants (« friture ») pour une liaison audio, image dégradée en transmission vidéo (« neige »), taux d'erreur important en transmission numérique (« pixellisation » ou « figeage » de l'image en TV vidéo numérique).

De plus, on prendra généralement une marge (on essayera d'avoir des dB en plus) pour tenir compte des atténuations supplémentaires qui peuvent être dues à des réflexions multiples ou à la météo (pluie, neige, brouillard, etc..)



X. Liaisons satellites

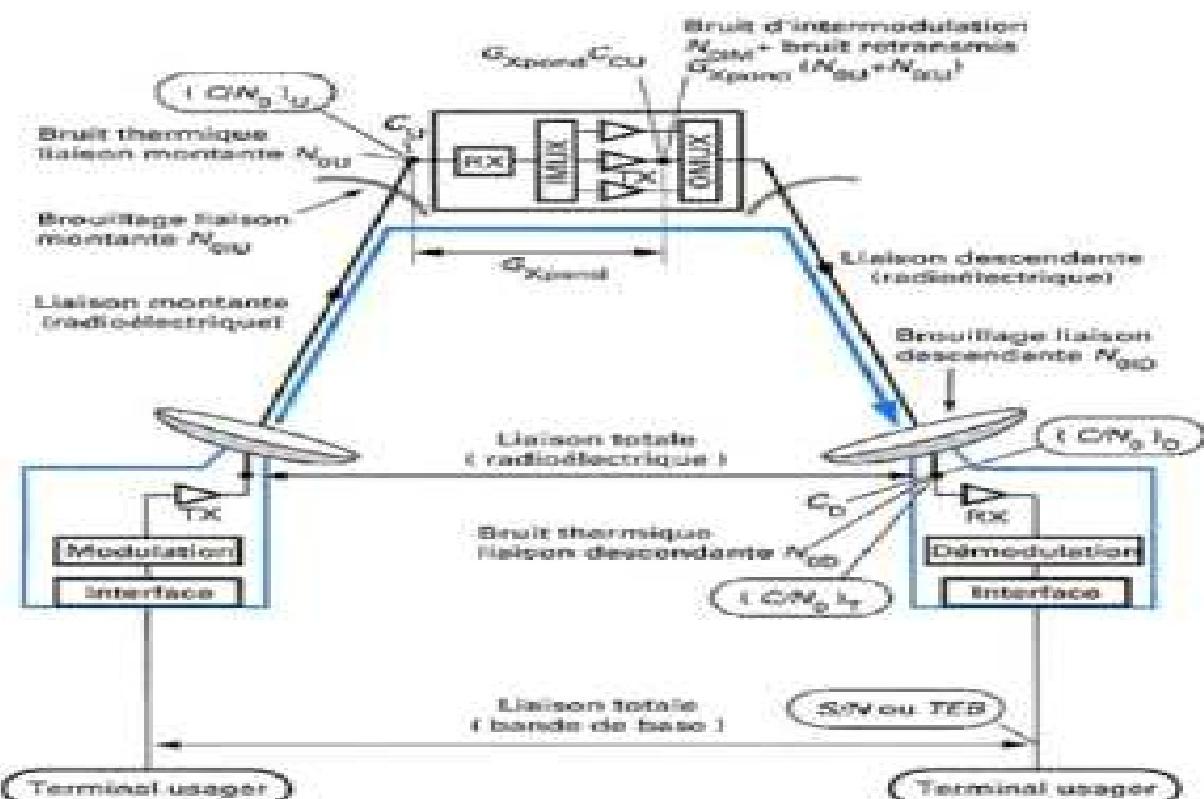
Les liaisons satellites utilisent les mêmes bandes de fréquences que les liaison hertziennes (essentiellement dans les bandes de 3 à 14 Gigahertz). Typiquement une liaison satellite permet de transmettre de l'ordre de 500 mégabits par seconde. Les satellites de télécommunication sont pour beaucoup des satellites en position géostationnaires à 36 000 km de la terre au dessus de l'équateur. Le temps mis par une onde pour atteindre le satellite est de 0.12 secondes, durée qui n'est pas négligeable et qui peut perturber une communication téléphonique. On voit apparaître des nouveaux réseaux de satellites en orbites basses qui sont utilisés pour permettre les communications avec les mobiles dans les zones peu peuplées ou n'ayant pas d'infrastructure suffisante.

X.1. Architecture d'un système de communication par satellite:

Une liaison satellitaire typique est essentiellement composée de trois segments :

- La station terrienne émettrice et le support en liaison montante ;
- Le satellite ;
- Le support en liaison descendante et la station terrienne de réception.

La figure qui suit illustre une liaison typique satellitaire :

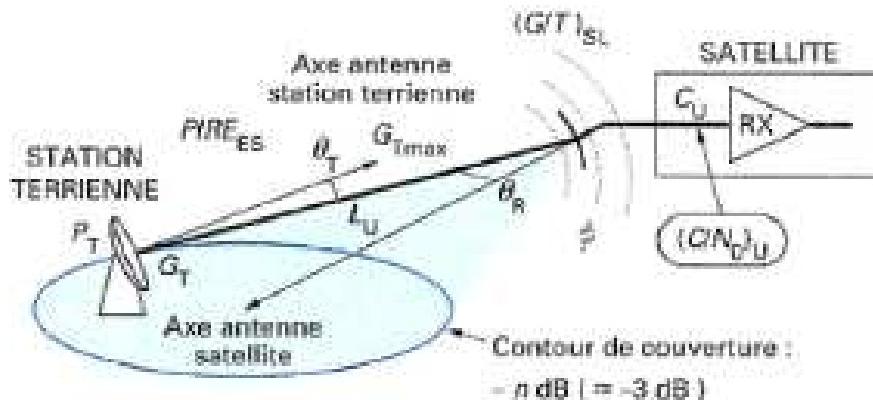


Le rapport C/N_0 caractérise la qualité de la liaison radioélectrique.
Le rapport S/N ou le taux d'erreur binaire (TEB) caractérise la qualité du signal en bande de base délivré en fin de liaison.

Liaison satellitaire: Source : Alcatel, 2008

✓ **Liaison montante:**

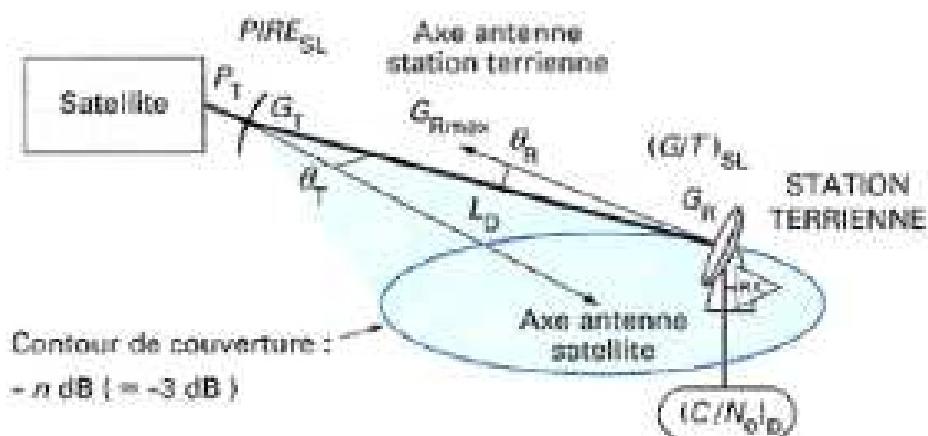
La **figure** montre la géométrie d'une liaison montante. Le bilan de liaison est établi dans le cas le plus défavorable, c'est-à-dire pour une station terrienne située en bordure de la zone de couverture, définie par un contour à gain constant de l'antenne de réception du satellite (par exemple - 3 dB par rapport au gain maximal).



Géométrie d'une liaison montante: Source : Alcatel, 2008

✓ **Liaison descendante:**

Le bilan de liaison est établi dans le cas le plus défavorable, c'est-à-dire pour une station réceptrice située en bordure de la zone de couverture définie par un contour à gain constant de l'antenne d'émission du satellite (par exemple - 3dB par rapport au gain maximal).

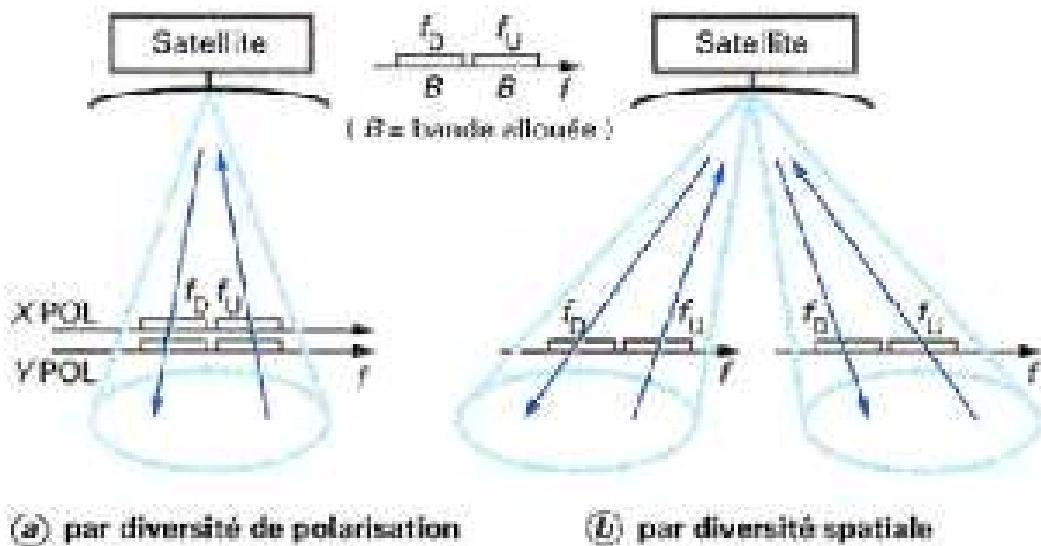


Géométrie d'une liaison descendante: Source : Alcatel, 2008

✓ **Liaison intersatellite:**

La liaison radioélectrique totale entre deux stations terriennes peut comporter une liaison entre deux satellites, chacun étant en visibilité de l'une des deux stations. Cela permet de relier des

usagers à des distances supérieures à celles indiquées par la figure sans avoir à effectuer de double bond avec un retour au sol intermédiaire.



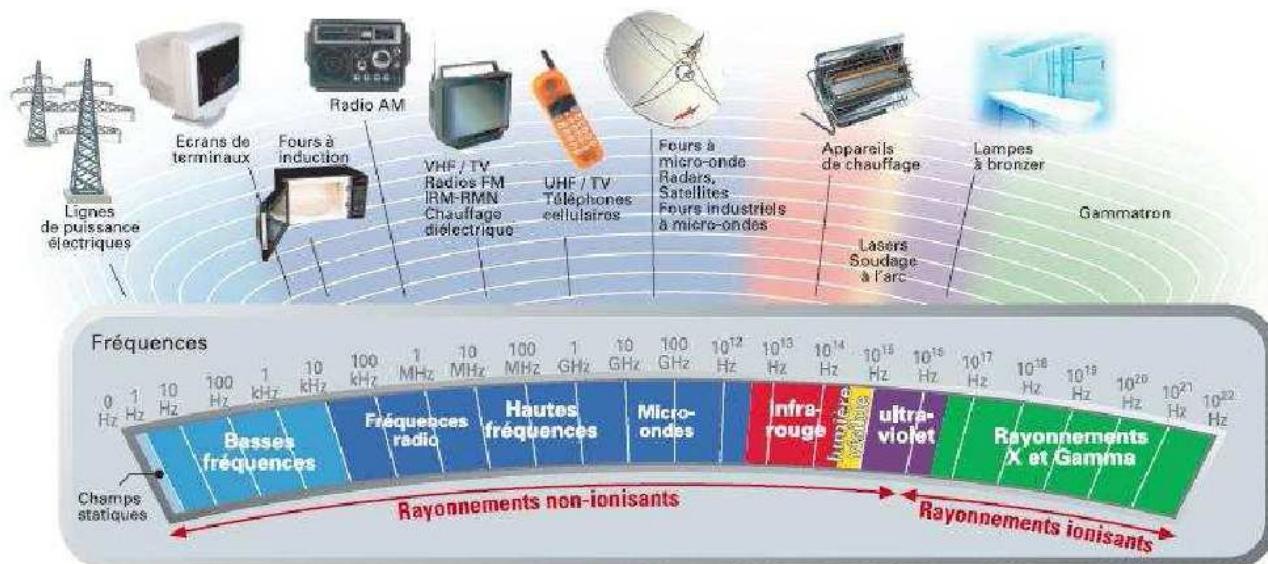
Réutilisation de fréquence: Source : Alcatel, 2008

Chapitre -5-

Les faisceaux infrarouges

I. Le rayonnement infrarouge :

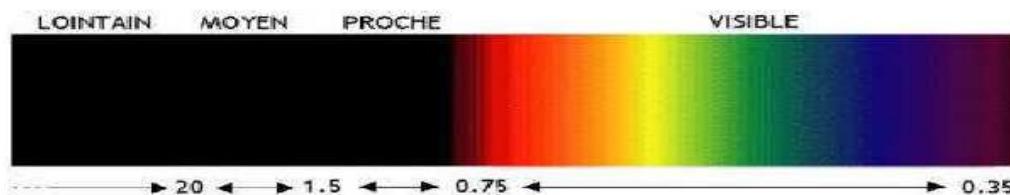
Le rayonnement infrarouge (IR) fut découvert en 1800 par Frédéric Wilhelm Hershel. Ces radiations localisées au-delà des longueurs d'onde dans le rouge, sont situées entre la région du spectre visible et des ondes hertziennes.



Le spectre électromagnétique dans son ensemble

Le domaine infrarouge s'étend de $0,8 \mu\text{m}$ à $1000 \mu\text{m}$. Il est arbitrairement divisé en 3 catégories:

- Le proche infrarouge ($0,8$ à $2,5 \mu\text{m}$),
- Le moyen infrarouge ($2,5$ à $25 \mu\text{m}$),
- Le lointain infrarouge (25 à $1000 \mu\text{m}$).



Les radiations infrarouges traversent facilement l'atmosphère, même brumeuse. On utilise cette propriété en photographie aérienne, pour prendre des vues panoramiques par temps couvert. L'infrarouge

sert aussi au chauffage domestique ou industriel et au séchage des vernis et peintures, du bois, des cuirs, des papiers et pellicules photographiques, à la déshydratation des fruits et légumes. L'une des applications militaires les plus importantes concerne l'autoguidage par infrarouge des missiles. L'infrarouge peut aussi servir pour les appareils de visée nocturne. En thérapie, les rayons infrarouges activent les processus cellulaires, en particulier la cicatrisation. Dès 1924, on s'est aperçu que l'énergie du rayonnement infrarouge moyen coïncidait avec celle des mouvements internes de la molécule.

II. Fonctionnement de l'infrarouge:

- ***La transmission infrarouge basée sur les rayons de lumières***

La transmission infrarouge, c'est lorsqu'on utilise les rayons de lumières qui ont une longueur d'ondes plus basse que celle du rouge.

Une transmission infrarouge consiste à envoyer un code à l'aide d'une diode infrarouge.

La diode clignote et les durées allumée/éteinte correspondent à des 0 ou 1, ce code est de nature binaire.

Le récepteur (qui peut être une télé, un appareil photo, un portable...) contient une photodiode qui devient passante chaque fois qu'elle reçoit cette lumière infrarouge.

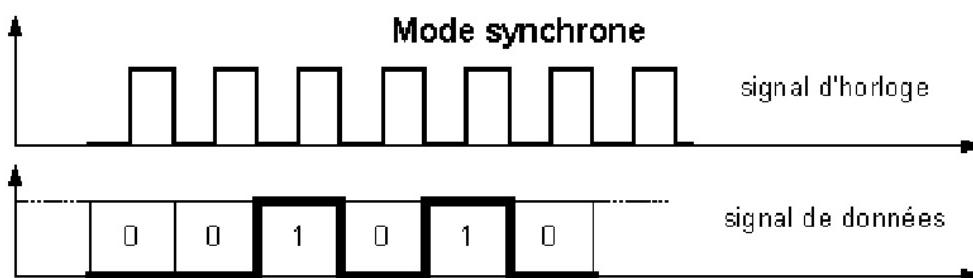
Un décodeur va transformer ces séries de 0 et 1 en codes correspondant à des actions (éteindre la télé, monter le volume, ajouter la lettre "A" au message du portable...). Un code spécial est parfois envoyé à la fin de la communication.

Le principe de l'infrarouge vient de l'émission d'une lumière, diffusée ou focalisée, dont la longueur d'onde se situe dans la plage des infrarouges (870-950 nm). Bien sûr, cette émission subit les mêmes règles physiques que toute lumière, diffraction, réfraction, absorption et réflexion.

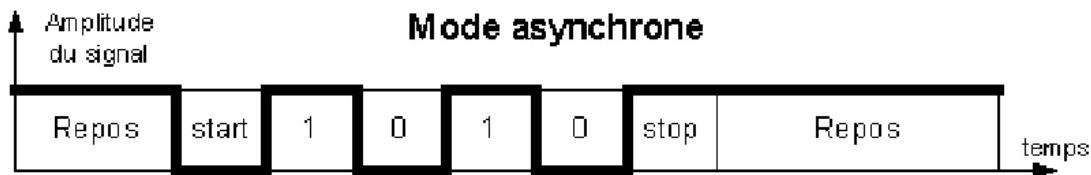
- ***Les différentes façons de transmettre l'infrarouge:***

Le codage des bits peut s'effectuer de deux manières différentes :

- ✓ **En mode synchrone** : Dans ce cas, c'est la présence d'une émission lumineuse pendant un certain temps, code la valeur 1. A l'inverse, l'absence de lumière pendant cette même durée code un 0.



- ✓ **En mode asynchrone** : Dans ce cas, la durée de pause entre deux impulsions lumineuses assure le codage des bits (20 ms = 0 ; 36 ms = 1).



Un seul standard est défini, qui opère sur la bande de 850 à 950 nm avec une puissance maximale de 2 W. Le débit maximal défini pour l'infrarouge est de 1 Mbps.

- *Exemples de transmission par infrarouge*

Cette technique de transmission de données, a pour caractéristique principale le fait que l'émetteur et le récepteur soit à vue l'un de l'autre. De plus, du fait de la dispersion de la lumière, c'est une technique très gourmande en énergie, ce qui limite bien sûr la portée d'équipements qui doivent rester portables. Ainsi, la portée est directement proportionnelle à l'énergie consommée.

Chaque diode infrarouge a un certain angle d'ouverture au sein duquel elle émet. Pour obtenir des systèmes omnidirectionnels il faut répéter, de façon circonférentielle, les diodes d'émission et les cellules de réception. Cet accroissement du nombre de diodes, portant dans la même direction, permet d'augmenter la portée et la vitesse de transmission. Cette portée varie entre 20 mètres pour un terminal portable à plusieurs centaines de mètres en directionnel. Les systèmes omnidirectionnels, alimentés par le secteur, ont une portée moyenne d'environ 50 mètres.

La notion de portée utile, est particulièrement sensible dans les réseaux infrarouges. Celle-ci dépend de l'environnement lumineux (à 1000 Lux la portée est diminuée de 50% et par temps de brouillard, elle est augmentée de 15%), de la structure des locaux et des terminaux utilisés.

Dans le cadre de ce type de transmission, il existe de nombreuses sources de perturbation : lampes à éclats, tubes d'éclairage à décharge ou rayonnement solaire.

Tous réseaux infrarouges comportent deux types d'éléments :

- les éléments statiques, qui sont chargés d'assurer le relais entre les autres éléments et le concentrateur. Ceux-ci se trouvent souvent sur les murs ou au plafond.

- Les éléments mobiles que sont les terminaux portables, les chariots de manutentions, etc.

Un réseau infrarouge peut avoir deux types de connexion des éléments statiques avec le concentrateur :

- Le réseau câble reliant les éléments statiques entre eux : Ce principe est adopté par la plupart des fabricants, présentant l'avantage de pouvoir couvrir des zones de communications discontinues.

- Le réseau à relais infrarouges libres : Ce principe est d'utiliser des relais infrarouge pour capter l'émission d'un mobile et la transmettre aux relais avec lesquels il est en contact, jusqu'à atteinte du destinataire.

Pour ce qui est des surfaces de couverture, il faut, pour les augmenter, répéter les émetteurs/récepteurs en appliquant le même principe que pour l'éclairage, à savoir, qu'il ne doit pas rester de zone d'ombre.

Enfin, les vitesses de transfert des réseaux infrarouges peuvent atteindre la valeur de 115 Kbps, bien sûr dans d'excellentes conditions.

L'un des principaux inconvénients de l'infrarouge est une obligation permanente d'avoir l'émetteur et le récepteur en vue l'un de l'autre.

III. Utilisation des systèmes infrarouges :

Les systèmes infrarouges constituent un bon support de transmission d'informations sans fil dans un réseau entre les ordinateurs ou entre les ordinateurs et les périphériques, car ils n'interfèrent pas avec les autres signaux électromagnétiques comme les signaux de télévision.

Les systèmes infrarouges utilisent la même technologie que les télécommandes de télévision. Le principe des systèmes infrarouges est d'utiliser le rayon infrarouge pour transmettre les informations. Dans un réseau local, la mise en place de tels systèmes infrarouges permettent :

- De transmettre avec une bande passante de 4 Mbps.
- De ne plus avoir de câbles.

L'installation et la configuration d'un système infrarouge est assez facile à réaliser : Lorsque les ordinateurs et les périphériques sont organisés au niveau d'un réseau local, ils peuvent envoyer des signaux infrarouges à un récepteur fixé au mur en hauteur. Le récepteur renvoie ensuite le signal vers l'ordinateur ou le périphérique destinataire du réseau. Les principales interférences du système infrarouge se situent dans les obstacles physiques, qui entravent les émissions entre les émetteurs et les récepteurs infrarouges.

Annexe:

Implication des différents supports de transmission

